

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



TESIS

**EFFECTOS DE LA ESCALADA DEPORTIVA SOBRE LA FLORA Y
VEGETACIÓN DE ACANTILADOS EN EL POTRERO CHICO, HIDALGO,
NUEVO LEÓN, MÉXICO**

Por:

Felipe Morales Armijo

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

DICIEMBRE 2020

**EFFECTOS DE LA ESCALADA DEPORTIVA SOBRE LA FLORA Y
VEGETACIÓN DE ACANTILADOS EN EL POTRERO CHICO, HIDALGO,
NUEVO LEÓN, MÉXICO**

Aprobación de Tesis

Eduardo Estrada C.

Dr. Eduardo Estrada Castellón

Director

César Cantú Ayala

Dr. César Cantú Ayala

Codirector

Horacio Villalón Mendoza

Dr. Horacio Villalón Mendoza

Asesor

Diciembre, 2020

AGRADECIMIENTOS

Les quiero agradecer la vida a mis ancestros, a mis padres María Leonor y Víctor Hugo que junto a mi hermanita Génesis, me han apoyado incondicionalmente en mis sueños y objetivos y a mi tía abuela Teresa Retamales H. por sus incesantes apoyos hacia mi persona y mi familia.

Al Dr. Eduardo Estrada por sus consejos académicos y que junto a Carmelita apoyaron mi investigación.

Al Dr. Cesar Cantú por sus acertados comentarios en mi tesis y las amables cenas compartidas junto a su familia.

Al Dr. Horacio Villalón por sus correcciones y su buena disposición a un estudio diferente.

A Sr. Mario Garza de Rancho El Sendero en El Potrero Chico, que nos recibió gentilmente en su bonito proyecto, a Homero's Ranch por su ayuda inicial.

A Karla Moya de la comunidad local por su amabilidad y por el equipo facilitado. A Dave Willis de Australia por su ayuda para muestrear "El Sendero Luminoso" y a Jesús Machuca de Guadalajara por su colaboración en la toma de datos.

A la Sra. Silvia y a Dr. Héctor Sierra por su sincera amistad y los magníficos momentos compartidos.

A Martí March-Salas y a Juan Lorite de la Universidad de Granada, España por la metodología y sus innumerables consejos.

A mi compañera de sueños y logros Andrea Sobrevilla por su entusiasmo, consejos, edición y cariño proporcionado en este trabajo.

A mis amigos chilenos de la vida que me han acompañado en las buenas y en las malas, en especial a Esteban Urbina por su grandiosa amistad y su apoyo en un momento difícil de mi vida.

Y finalmente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para el desarrollo de mis estudios de Maestría en México.

DEDICATORIA

A mis abuelos que no están, en especial a mi Ita que me aconsejó y apoyó en el camino que iba formando, que junto a sus habilidades gastronómicas alimentaron, nutrieron y endulzaron mi vida hasta el día que nos dejó y que eligió para partir, fue un día especial... el día de mi 28° vuelta al sol.

¡A la Mamá Chave! Claro, la única abuela que me queda y que intento compartir y disfrutar cada vez que puedo.

A mi madre María Leonor Armijo G. y a mi padre Víctor Hugo Morales R. que me criaron, me entregaron valores, me enseñaron a sonar y a amar.

A mi única y hermosa hermana Génesis Morales Armijo, por su infinito y eterno amor a la vida, a la música y a su familia.

Y a mi tía abuela Teresa Retamales H. que siempre ha estado “retándome” y acompañando con alegría a mi familia, mis proyectos y mis logros.

ÍNDICE

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUCCIÓN	12
2. ANTECEDENTES	14
2.1 Historia de la escalada	14
2.2 Historia de El Potrero Chico	17
2.3 Escalada deportiva y variantes	19
2.3.1 Escalada tradicional	19
2.3.2 Escalada artificial.....	19
2.3.3 Escalada en hielo	19
2.3.4 El rapel	20
2.3.5 Escalada en solo integral o free solo.....	20
2.4 Graduación de dificultad en escalada deportiva	20
2.5 Origen geológico de El Potrero Chico.....	22
2.6 Ecología de acantilados y de la recreación	24
2.7 Estudios similares.....	28
2.8 Uso del magnesio en la escalada en roca	31
3. JUSTIFICACIÓN	32
4. HIPÓTESIS	33
5. OBJETIVOS	33
5.1 Objetivo general.....	33
5.2 Objetivos específicos.....	33
6. MATERIAL Y MÉTODOS	34
6.1 Área de Estudio	34
6.1.1 Localización.....	34
6.1.2 Fisiografía.....	35
6.1.3 Geología	35
6.1.4 Edafología	36
6.1.5 Hidrología	36
6.1.5 Climatología	36

6.1.7 Vegetación	37
6.1.8 Fauna	37
6.2 Método.....	38
6.3 Diseño del muestreo.....	41
6.4 Variables ecológicas.....	46
6.5 Variables físicas o ambientales	46
6.6 Análisis estadístico	47
7. RESULTADOS	48
7.1 Flora	48
7.2 Efecto de la escalada deportiva.....	50
7.2.1 Intensidad de escalada.....	53
7.2.2 Dificultad de escalada	53
7.2.3 ANOVA para exposición.....	56
7.2.3 ANOVA para pendiente	56
7.2.4 ANOVA dos factores con (CUI) y Dificultad.....	57
7.3 Efectos condiciones físicas.....	58
7.4 Análisis multivariados	60
7.4.1 Clasificación	60
7.4.2 Ordenación.....	62
8. DISCUSIÓN	69
9. CONCLUSIONES.....	73
10. IMPLICANCIAS Y RECOMENDACIONES	74
11. REFERENCIAS.....	78
12. ANEXO	89

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes de la ecología de la recreación	27
Tabla 2. Coordenadas geográficas de sectores de escalada muestreados.....	35
Tabla 3. Clasificación subjetiva de calidad de las rutas en El Potrero Chico realizada por Madden (2019).....	40
Tabla 4. Pruebas de normalidad para las variables sin transformar de riqueza, cobertura y abundancia de raíz cuadrada.....	50
Tabla 5. Pruebas de normalidad para datos transformados con raíz cuadrada para variables de riqueza, cobertura y abundancia.	51
Tabla 6. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas y prueba de T de Student para las variables riqueza, cobertura y abundancia.	51
Tabla 7. ANOVA para riqueza, cobertura y abundancia respecto a la intensidad de uso de escalada (CUI).	53
Tabla 8. ANOVA para riqueza, cobertura y abundancia respecto a la dificultad de escalada.....	54
Tabla 9. ANOVA para riqueza, cobertura y exposición respecto a la exposición de los acantilados en El Potrero Chico.	56
Tabla 10. ANOVA para riqueza, cobertura y exposición respecto a la pendiente en los acantilados de El Potrero Chico.	56
Tabla 11. Análisis de varianza de dos vías para riqueza con intensidad de escalada (CUI) y dificultad.	57
Tabla 12. Análisis de varianza de dos vías para cobertura con intensidad de escalada (CUI) y dificultad.	57

Tabla 13. Análisis de varianza de dos vías para abundancia con intensidad de escalada (CUI) y dificultad.	58
Tabla 14. Correlaciones entre porcentaje de microhábitat con riqueza, cobertura y abundancia.....	58
Tabla 15. Valores propios y porcentajes de la varianza explicados por las especies y las variables ambientales en los cuatro ejes del ACC.....	63
Tabla 16. Correlaciones entre las variables físicas y ambientales en los acantilados de El Potrero Chico.....	63
Tabla 17. Correlaciones entre las variables físicas y ambientales con los cuatro ejes de ordenación del análisis de correspondencia canónica.	64
Tabla 18. Valores propios y porcentajes de la varianza explicados por las especies y las variables ambientales en los cuatro ejes del ACC.....	66
Tabla 19. Correlaciones entre las variables físicas y ambientales en los acantilados de El Potrero Chico.....	67
Tabla 20. Correlaciones entre las variables físicas y ambientales con los cuatro ejes de ordenación del análisis de correspondencia canónica.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ilustración de las características de un acantilado. (Larson et al., 2000).....	26
Figura 2. Localización del área de estudio.....	34
Figura 3. Índice Intensidad de Uso de Escalada (Clark & Hessel, 2015).....	39
Figura 4. Diseño del muestreo con tres parcelas de 3m x 3m.	41
Figura 5. Cuadrante de 3m x 3m con subparcelas de 0.5m x 0.5m.	42
Figura 6. Cuadrante de toma de datos con siglas.....	44
Figura 7. Instalación del cuadrante y fotografiado de subparcelas con y sin escalada.	45
Figura 8. Ecuaciones para obtención cobertura y abundancia	46
Figura 9. Gráfica de medias para las variables riqueza, cobertura y abundancia en acantilados con escalada y sin escalada.	52
Figura 10. Gráfica de medias de riqueza, cobertura y abundancia agrupadas en clases de dificultad de escalada.	55
Figura 11. Gráfica de medias de riqueza, cobertura y abundancia vegetal respecto a las exposiciones de los acantilados de El Potrero Chico.	59
Figura 12. Dendrograma de similitud para especies en acantilados El Potrero Chico.....	61
Figura 13. Diagrama de ordenación mostrando la distribución de las especies de muestreo en relación a las variables ambientales.	65
Figura 14. Diagrama de ordenación mostrando la cobertura relativa de las especies de muestreo en relación a las variables ambientales... ..	68
Figura 15. Propuesta de zonificación para uso de escalada en El Potrero Chico.	77
Figura 16. Mapa con sectores muestreados.	89
Figura 17. Fotografía con fósiles de rudistas.	90

RESUMEN

La escalada deportiva es una de las actividades al aire libre que más ha crecido en las últimas décadas en Norte América y desde la década de los 90' que estudios similares concluyen efectos negativos sobre la vegetación. En el presente estudio se evaluaron los efectos de la escalada deportiva sobre las comunidades de plantas vasculares en los acantilados de El Potrero Chico, ubicado en el borde septentrional del ANP Estatal Sierra del Fraile y San Miguel en Hidalgo, Nuevo León. El muestreo fue en parcelas de 3x3 m a tres niveles; Bajo (B), Medio (M) y Top (T) equidistantes entre sí, a una altura < 40 m. Las rutas fueron muestreadas de manera descendiente (rapel) para examinar si los acantilados de El Potrero Chico con presencia de escalada difieren en la riqueza, cobertura y abundancia vegetal de las zonas sin escalada (U), considerando la intensidad de uso de escalada (CUI), la dificultad, efectos de exposición, pendiente y porcentaje de microtopografía de los acantilados. Los resultados indican que la presencia de escalada en los acantilados genera un efecto negativo en la vegetación, afectando en la riqueza, abundancia y cobertura vegetal. La intensidad de escalada (CUI) y la dificultad fueron factores de impacto en la riqueza y abundancia, pero no para la cobertura vegetal. El porcentaje de microhábitat tuvo una correlación fuerte con las tres variables ecológicas. La exposición oeste y norte presentaron mayor riqueza de especies. La presencia de escalada y la pendiente fueron las variables más importantes para la distribución de las especies en EPC.

ABSTRACT

Sport climbing is one of the outdoor activities that has grown the most in North America in recent decades and since the 1990's similar studies have concluded negative effects on vegetation. In the present study, were evaluated the of sport climbing effects on the vascular plant communities on the cliffs of El Potrero Chico, located on the northern edge of the protected area Sierra del Fraile and San Miguel in Hidalgo, Nuevo León, The sampling was in 3x3 m plots at three levels; Low (B), Medium (M) and Top (T) equidistant from each other, at a height <40 m. The routes were sampled to down (rappelling) to examine if the cliffs of El Potrero Chico with the presence of climbing differ in the richness, cover and abundance plant of the areas without climbing (U), considering the intensity of climbing use (CUI), the difficulty, exposure, slope and percentage of micro-topography effects of the cliffs. The results indicate that the presence of climbing on the cliffs generates a negative effect on the vegetation, affecting the richness, abundance and cover vegetation. Climbing intensity (CUI) and difficulty were impact factors on richness and abundance, but not for vegetation cover. The percentage of microhabitat had a strong correlation with the three ecological variables. The western and northern exposures presented higher species richness. The presence of climbing and the slope were the most important variables for the distribution of the species in EPC.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las metas de la conservación biológica a nivel mundial es hacer de la investigación científica el principal objetivo para la preservación de los paisajes naturales (McMillan y Larson, 2002). Para la ciencia y los ambientalistas las áreas naturales son de particular interés, ya que han permanecido intactas durante largos periodos de tiempo y sirven como hábitat para una inmensa variedad de especies de plantas y de animales, que por lo general no se encuentran en áreas con perturbación (Kuntz, 2004).

Las actividades recreativas al aire libre que incluyen escalada en roca, senderismo y ciclismo de montaña han aumentado enormemente en popularidad durante las últimas décadas (Kuntz y Larson, 2006; Saul et al., 2019) y algunos investigadores han predicho que se producirá un crecimiento de estas actividades recreativas al aire libre que contienen elementos de riesgo y aventura (Cordell y Siehl, 1989; Cordell, 2012). Algunas de estas actividades se realizan en hábitats históricamente inaccesibles, en consecuencia, perturban cada vez más la biota. Sin embargo, los estudios que evalúan el impacto de estas actividades al aire libre en la biodiversidad local aún son poco frecuentes y sus resultados no son concluyentes, en parte debido a la falta de controles adecuados (Holzschuh, 2016).

El Potrero Chico es uno de los sectores de escalada más populares de México y posee la segunda ruta deportiva más larga de Norte América con 700 m de escalada (Madden, 2019). Este sector se encuentra en el Estado de Nuevo León, en el Municipio de Hidalgo a 42 km de Monterrey y su roca es de tipo caliza, considerado uno de los tipos de rocas de mejor calidad para la escalada deportiva.

Los acantilados de piedra caliza son un hábitat raro en todo el mundo que admite biotas altamente especializadas y distintas, incluidos los líquenes, briófitas, plantas vasculares, insectos y gasterópodos (Larson, et al., 2000). La gran riqueza de especies, el gran número de especies raras y la rareza del tipo de hábitat dan a los acantilados de piedra caliza un alto valor de conservación (Baur et al., 2007; Müller et al., 2004).

La necesidad de comprender mejor el terreno en entornos montañosos puede conducir directamente a una mejor comunicación y gestión durante las experiencias de recreación, educación y liderazgo al aire libre (Rose, 2013). Debido al acelerado desarrollo de la escalada en roca en México y sobre todo en Nuevo León, el conocimiento de la flora vascular y no vascular en relación con sus categorías de conservación es urgente. Por lo tanto, la evaluación del impacto de la escalada en roca en la ecología de las comunidades vegetales es necesaria para enfocar los esfuerzos de conservación y así gestionar la escalada y el turismo asociado.

2. ANTECEDENTES

2.1 Historia de la escalada

La escalada en roca es una disciplina que consiste en realizar ascensos sobre paredes, valiéndose de la fuerza física y mental propia. Se considera también una rama derivada del montañismo, utilizada como medio de ascenso para acceder a algunas cumbres, siendo incierto su origen histórico. Sin embargo, existen registros que datan de 1695, por parte del escritor Martin (1703), en su libro "*A description of the western islands of Scotland*", donde se menciona que utiliza un par de cuerdas en pequeñas laderas rocosas para la caza de aves en las Islas al oeste de Escocia. El siguiente hito que marca el progreso de la escalada como disciplina importante para el montañismo es el realizado por el Michel Gabriel Paccard y Jacques Balmat que ascendieron por primera vez al Mont Blanc en 1786 (De Beer y Hey, 1955).

Posteriormente, la disciplina comenzó a desarrollarse poco a poco, ya en el último cuarto del siglo XIX, siendo un componente importante en la época Victoriana. Se acreditan tres lugares como puntos de nacimiento de la escalada recreativa moderna, el primero es The Peak y Lago Districts en Inglaterra, el segundo es la región de arenisca del Elbe, en el sureste de Alemania y tercero, las Dolomitas del norte de Italia (Nationalgeographic, 2020). En diciembre de 1857 en Londres, se crea el primer Club de Alpinismo en el mundo, que corresponde al británico. Este club expandió sus ideales de escalada a nivel internacional y provocó cambios fundamentales en el equipamiento que ayudaron a revolucionar el deporte. Posteriormente, en Olten se crea el Club Alpino Suizo en 1863. En el año 1864 Gustav Tröger, Ernst Fischer, J. Wähnert y H. Frenzel escalan el Falkenstein en las montañas de arenisca de Elbe con ayuda de elementos de seguridad artificiales como escaleras, todo esto después de varios intentos fallidos (National Geographic, 2020).

Hoy en día se considera el inicio de la escalada en roca como deporte en las montañas de arenisca del Elba (Seifert et al., 2017). Poco después, en 1869, el conocido escritor, naturalista y escalador John Muir, con botas de montaña, realiza el primer ascenso al pico de la catedral en Tuolumne Meadows, cerca del Parque Nacional Yosemite (Middendorf, 1999). En la primera década del siglo XX, los pioneros estaban experimentando con inventos de escalada de primera generación, como mosquetones de acero y pitones de anillo de hierro. En 1875 se realiza el primer ascenso a la pared conocida como Half Dome en el Parque Nacional Yosemite por George Anderson, que usó tuercas de acero en las fisuras de la pared o en agujeros perforados como agarraderas para manos y pies, finalmente usó una cuerda fija para regresar a su punto más alto todos los días (Ament, 2002). Una de las décadas más importantes para la disciplina fue en 1880, cuando comienza la escalada deportiva en Lago District, en Saxony cerca de Dresden y en las Dolomitas, Italia (Ament, 2002). En 1910, un trío de escaladores alemanes aprovechó los materiales disponibles de la revolución industrial para comenzar a confeccionar los primeros equipos de metales de escalada (Middendorf, 1999). Otto Herzog, desarrolló el primer mosquetón de acero para escalar, basado en uno visto anteriormente en el cuerpo de bomberos (Middendorf, 1999). Por último, Hans Dülfer que desarrolló un conjunto técnicas y materiales, entre ellas el descenso por cuerda utilizando el cuerpo denominado “Dülfersitz”, un dispositivo de aseguramiento que utiliza dos mosquetones y anclajes de aseguramiento más resistentes (Middendorf, 1999). No fue hasta la década de 1950 que la escalada pasó de ser un pasatiempo recreativo a un deporte por derecho propio (BBC, 2020).

El acontecimiento que marca un antes y después en cuanto impacto en la roca fue en el Half Dome del valle de Yosemite, siendo escenario del polémico avance en los estándares técnicos de escalada, en ese momento partió el uso de equipo metálico utilizado de manera permanente en la roca (Middendorf, 1999).

La cara suroeste de Half Dome fue intentada en 1933 por Richard Leonard y otros miembros del Sierra Club, cuyos intentos los convencieron de que no se podía escalar sin un uso excesivo de pitones. Leonard escribió después "se tendría que cruzar la frontera indefinida entre el uso justificable e injustificable de la ayuda directa" (Middendorf, 1999). Aquí comienza el cuestionamiento ético de la disciplina. Pero luego de 10 años más tarde, en 1946, John Salathé y Anton Nelson escalaron la cara suroeste por una difícil ruta de 5.8 (Grado YDS) usando un nuevo y revolucionario pitón, el cual podía ser reemplazado, y poner y quitar fácilmente de la pared (Middendorf, 1999). La escalada en roca 1960 se plantea como práctica de habilidades para secciones más complejas y difíciles para el ascenso de una montaña, comenzando poco a poco a apreciarse de forma deportiva (Schöffl, 2009). A mediados de la década de 1980, su popularidad se extendió a nivel mundial y se diversificó para incluir nuevas categorías (Schöffl, 2006). La escalada en roca, que está dentro de una variante del montañismo, experimentó un crecimiento del 8% en la participación entre 1980 a 1984 y un aumento del 12% entre 1985 y 1989 (Webster, 1990). Ya para comienzos de los años 90' existía una población de escaladores de roca activos en los Estados Unidos que variaba entre 150.000 y 500.000 (Webster, 1990). En 2010 se estimaban 4.6 millones de escaladores en los Estados Unidos, entre los cuales se puede encontrar escaladores de boulders, escaladores deportivos y escaladores de interior (The Outdoor Foundation, 2013) y las tendencias antes mencionadas sugieren que estas cifras seguirán aumentando (Tessler & Clark, 2016). En 1991, solo unos pocos países participaron en el primer Campeonato Mundial de Escalada Deportiva, pero después de 14 años, en 2005, competían unos 500 atletas de 55 países (Schöffl, 2006). Actualmente en Estados Unidos, 1000 personas son las que intentan escalar por primera vez todos los días y más de 25 millones de personas están escalando regularmente en todo el mundo según la Federación Internacional de Escalada Deportiva (IFSC, 2020). La escalada deportiva habría hecho su debut olímpico en Tokio 2020, y debido a la situación sanitaria mundial, se pospuso para julio de 2021, donde se presentarán en tres modalidades; escalada técnica, boulder y velocidad.

2.2 Historia de El Potrero Chico

Estas imponentes formaciones rocosas, fueron foco de atención a comienzos de 1600, esto posterior a la repartición de mercedes reales de todo el territorio de Nuevo León en 1596 por parte de Diego Montemayor. Se puede encontrar la primera merced real a nombre de Martín de Solís en 1604 en el interior de El Potrero Chico, que posteriormente pasó a nombre de Don Bernabé de las Casas para 1608 a 1611 (Villarreal, 2018). De los primeros antecedentes históricos que demuestran un asentamiento es la llamada “Hacienda de Enmedio”, la cual se encontraba en el interior de El Potrero Chico, fundada por Don Diego de Villarreal en 1626, originalmente la hacienda era de beneficio o minera, extrayendo principalmente cobre y plata, manteniéndose en operación por alrededor de 40 años. El agua fue canalizada desde el nacimiento que se encuentra en el interior de EPC en 1635. A pesar de los años de operación de la hacienda, comenzó a decaer debido a los constantes ataques de los indios cuanales y/o aiguales por lo que abandonó la Hacienda de Enmedio y se dirigió a la Hacienda la Magdalena a finales de 1680, para fallecer ahí en 1686 (Villareal, 2018). En este mismo año, se instala la Hacienda San Nicolas Obispo, fundada por Juan y Cristóbal Villarreal, que posteriormente será el actual poblado de Hidalgo, N.L. (Villarreal, 2018).

La fundación de municipio fue en 1826 con el nombre de “Nuestra Señora del Pueblito” y en 1828, Manuel Gómez, gobernador de Nuevo León, por medio de la Legislatura Constitucional del Estado expidió el decreto número 159 por medio del cual, la antigua hacienda se elevaba a la categoría de villa con el nombre de “San Nicolás de Hidalgo” (Garza, 1990)

En 1902, Alberto G. Cárdenas solicita al gobierno del Estado para la instalación de una fábrica de cemento en el municipio de San Nicolás de Hidalgo con el fin de extraer yeso, pizarra y caliza. Finalmente, otorgándole una concesión de 400 ha en El Potrero Chico, por 100 años (Rojas, 2011). Después de la caída del régimen dictatorial de Victoriano Huerta, pasó a ser administrada por el gobierno del Estado de Nuevo León en 1914 (Rojas, 2011). En 1931 se fusiona Cementos

Hidalgo y Cementos Monterrey para formar Cementos Mexicanos (CEMEX), dejando de operar en 1932. Cinco años después en 1937, la cementera comienza nuevamente a operar, esta vez aprobada por el presidente Lázaro Cárdenas.

La primera escalada recordada para El Potrero Chico fue en 1960, realizada por Juan de Dios León (Monte Blanca), además, la primera ruta deportiva y multilargo con seguros fijos fue en 1989, equipando los dos primeros largos de la famosa ruta “*Jungle Mountaineering*”, en el sector de *Jungle Wall*, equipada por Jeff Jackson y Alex Catlin (Bass, 2007). Potrero Chico posee más de 600 rutas de escalada deportiva con pernos de protección fijos se han instalado en 24 sectores. Más del 90% de estas rutas de escalada son deportivas (Madden, 2019).

En enero de 2014, el famoso escalador estadounidense Alex Honnold decide escalar en solo integral (free solo) la pared de El Toro por la ruta Sendero Luminoso de más de 500 metros y con una graduación de 5.12c en YDS. Fue abierta en 1994 por Jeff Jackson, Pete Peacock y Kurt Smith (Madden, 2019), ubicada en la cara norte del cerro El Toro que da hacia el poblado de Hidalgo. La empresa americana The North Face captura este acontecimiento y lanza un corto en la plataforma de YouTube dándole a El Potrero Chico una ventana hacia el mundo de la escalada, atrayendo a miles de escaladores de todo el mundo, el video actualmente supera los 8.5 millones de visitas.

2.3 Escalada deportiva y variantes

La escalada deportiva (escalada libre) es una forma de ascender por paredes verticales utilizando solamente las extremidades del cuerpo para subir. Requieren una fuerza en piernas, flexibilidad, fuerza en los dedos y resistencia. Se considera una rama derivada del montañismo utilizada como medio de ascenso para acceder a algunas cumbres. Se practica mediante seguros o pernos (Bolts) fijos en la roca, generalmente separados por 2 a 5 m para sujetar su cuerda por seguridad en caso de caída (Child, 1995). La longitud de la ruta por largo puede variar de 7 a 40 metros, en caso que la pared posea más de 40 metros escalables, se realizan el número de largos que correspondan, generando una reunión (dos o más anclajes fijos) cada 30, 35 o 40 metros.

Este tipo de escalada pertenece a una subclasificación de los diferentes estilos o maneras de desplazarse en la montaña, en paredes gigantes o en acantilados congelados.

2.3.1 Escalada tradicional

Consiste en escalar principalmente por fisuras verticales que permitan al escalador la utilización de dispositivos de seguridad móvil y de esta manera retirar el equipo utilizado, sin perturbar, ni dejar equipo en la ruta de escalada.

2.3.2 Escalada artificial

Se caracteriza por la utilización de tipo de equipo para el ascenso, desde perforaciones y pernos en la roca hasta el ascenso por cuerda en caso de no existir facilidad para subir.

2.3.3 Escalada en hielo

Se realiza en cascadas congeladas, utilizando equipamiento especializado, como crampones, piolets técnicos y tornillos de hielo.

2.3.4 El rapel

Es una técnica de descenso en la montaña, utilizando una cuerda y algún dispositivo de frenado. Algunas técnicas antiguas utilizaban solo el cuerpo del escalador para descender, colocando la cuerda en forma de "S" en el cuerpo. Posteriormente, se utilizaron unos dispositivos de acero llamados "Ocho" por la forma que posee la estructura metálica. Actualmente, se puede encontrar diferentes dispositivos de frenado, el más utilizado es el "ATC" (*Air Traffic Controller*).

2.3.5 Escalada en solo integral o free solo

Este tipo de ascenso se realiza sin cuerda, ni elementos de seguridad. Utilizando las extremidades para subir y magnesio. El escalador estadounidense Alex Honnold es uno de los mejores exponentes de esta disciplina, ganando un premio Oscar como mejor documental.

2.4 Graduación de dificultad en escalada deportiva

Desde que la escalada libre o deportiva comenzó a expandirse por Europa y el mundo a comienzos del siglo XX, cada región, como Europa, Norteamérica, Australia, Brasil, por mencionar algunos, han desarrollado su propia clasificación de dificultad de escalada y la *Union Internationale des Associations d'Alpinisme*, hoy Federación Internacional de Escalada y Montañismo (UIAA) desde 1937, se encarga de los componentes de seguridad en la montaña, certifica los equipos técnicos utilizados, genera protocolos éticos y de seguridad para estas actividades, organiza campeonatos mundiales de escalada y homologa las diferentes clasificaciones de dificultad del mundo, además generando su propia graduación de dificultad (UIAA, 2020).

La clasificación más utilizada en México es la norteamericana o Sistema Decimal de Yosemite (YDS). En los años 50, este sistema europeo fue modificado para dar una descripción más precisa de la escalada en roca practicada en California, EE.UU. Se configuran inicialmente "5 clases" en donde el 1 y 2 es para

senderismo y carreras en la montaña. La clase 3 es para un gateo o *scrambling* moderado con pendiente de 45°. La clase 4 es para trepar laderas mayores a 45° y es posible la utilización de equipo de seguridad. Y finalmente, la clase 5 incluye laderas con pendientes mayores a 60°, equipo de seguridad y conocimiento técnico. En esta clase inicia la escalada con cuerda, en donde se comienza por agregar un decimal que va del 5.1 hasta el grado 5.15. Por encima de "5.10", los grados se dividen en a, b, c, d. En las clases que van desde el "5.11" y el actual "5.15" se identifica una escalada para escaladores extremos, que requiere entrenamiento y habilidades técnicas (RedBull, 2020).

Por lo general, la escala YDS evalúa solo el paso más exigente de la ruta, denominado "*crux*" y no brinda orientación sobre la dificultad general, su exposición y el esfuerzo requerido por la escalada. Por lo que se le considera una clasificación subjetiva y debe ser repetida por otros escaladores para confirmar la primera graduación de dificultad (Draper, 2011).

2.5 Origen geológico de El Potrero Chico

Nuevo León es famoso entre los escaladores por su variedad de rutas en sus cañones de piedras calizas. Los eventos de formación geológica están relacionados con la tectónica y la paleogeografía del noreste de México, así como con la apertura del Golfo de México durante el período Triásico (Smith, 1981). Este último evento dio origen a la formación de zonas emergidas en forma de penínsulas e islas como consecuencia de la transgresión marina (Conklin y Moore, 1977).

La Formación Cupido es uno de los mayores elementos formadores de montañas en la parte este y norte de la Sierra Madre Oriental, esta formación está constituida principalmente de caliza gris, concreciones de pirita y de marcasitas oxidadas y se desarrolló como depósitos de plataforma carbonatada a través de depósitos cíclicos de baja amplitud y alta frecuencia (parasecuencias), la edad propuesta por Imlay (1937) para la Formación Cupido de acuerdo a su contenido faunístico consistente de rudistas, gasterópodos y ostrácodos, es del Hauteriviano Tardío al Aptiano Temprano.

La somerización relativa del nivel de la mar registrada en el noreste de México, favoreció el desarrollo de un grupo de moluscos bivalvos pertenecientes a la superfamilia *Hippurítacea* conocidos mundialmente como "rudistas". Estos bivalvos compartieron el ecosistema con otros organismos, principalmente algas, foraminíferos, corales, gasterópodos, pelecípodos, briozoarios y esponjas, que, junto con los sedimentos, constituyeron cuerpos calcáreos de diversas magnitudes en forma de biostromas o biohermas, que en general se denominan "arrecifes de rudistas" (Pichardo, 2002) (Ver anexo fotográfico. Figura 16). Este grupo exclusivamente bentónico es el principal elemento paleontológico de las capas de la Formación Cupido. En EPC los géneros más comunes son *Toucasia* sp. y *Amphitriscoelus* sp.

La acción del agua de lluvia fue una fuerza crítica en la formación de EPC. El agua dulce esculpe y desgasta la piedra caliza de dos maneras, mecánica y

química. Esto se puede observar en muchos de los agujeros (micro topografía) que proporcionan agarres seguros para escalar, estos son en realidad moldes de estromatoporoides bulbosos cuyas conchas de calcita porosa se han lixiviado debido al agua dulce. Estas mismas rocas de arrecife forman grandes y prolíficos reservorios de petróleo donde están profundamente enterrados a lo largo de la costa del Golfo del sur de Texas y el este de la costa de México (Balazs, 2007. Citado de Bass, 2007). Las fuerzas naturales continuarán dando forma a los muros y cañones de Potrero, pero la actividad humana podría tener un impacto más significativo en el futuro previsible.

2.6 Ecología de acantilados y de la recreación

La palabra acantilado, se define como "una cara de roca alta, empinada o sobresaliente" (Onions, 1968). Es debido realizar la diferencia con el concepto de un afloramiento rocoso, que corresponde a "una porción de lecho rocoso que sobresale a través del nivel del suelo". Por lo que, todos los acantilados son afloramientos rocosos, pero los afloramientos rocosos no son necesariamente son acantilados y no es necesario precisar el grado de consolidación de la roca, pudiendo ser formados por arena o grava o diferente tipo de roca, ya sea ígnea, sedimentaria o metamórfica (Larson, 2000).

Para que un afloramiento rocoso sea denominado acantilado, debe presentar tres elementos esenciales; 1) una plataforma o meseta plana o inclinada en la parte superior, llamada antiplanicie. 2) una base de roca en el pie o bajo del acantilado, llamada talud y una 3) pared o cara vertical o muy inclinada, denominada cara libre, entre las dos anteriores. La antiplanicie es la zona extendida desde la cara posterior de un roquedo hasta una distancia arbitraria que participa en el proceso de desgaste de la roca, mientras que el talud es la acumulación de la pérdida de fragmentos de roca y bloques derivados del desgaste de la pared. El pie es el punto donde el talud y la base de roca se encuentran. La altura mínima a la que un afloramiento rocoso se le denomine acantilado, no está definida, pero según Larson et al. (2000) una definición intuitiva es "lo suficientemente alta como para que un humano se caiga y se mate" y esta altura es probablemente de más de 3 o 4 m. Sin embargo, desde el punto de vista de los procesos que producen la pared rocosa y los organismos que colonizan la superficie, la altura puede ser irrelevante. No hay suficiente literatura que pueda demostrar que la altura del acantilado influya en los organismos que viven en él (Larson et al., 2000).

La heterogeneidad en la morfología de la superficie del acantilado, se ve representada por las diferentes microformas o microtopografía, que posea la pared vertical fracturada donde no hay espacio de enraizamiento para plantas superiores, pero abundante microhábitat para líquenes resistentes al calor y tolerantes a la desecación, esto puede estar al lado de pequeños salientes planos que acumulen agua o materia orgánica, que permitan el crecimiento de plantas, arbustos o árboles de tamaño pequeño.

La compresión de todos estos microhábitats en un espacio tan reducido, permite una situación particular en la cual plantas con requerimientos de humedad y tolerantes a la desecación, puedan coexistir las unas con las otras dentro de unos centímetros (Larson et al., 2000). Las repisas son secciones del acantilado que son más o menos horizontales y que pueden llegar a ser socavadas, entonces forman un saliente. Dependiendo del tipo de roca, hay más o menos fracturas de diferentes tamaños en la continuidad de la roca, desde agujeros microscópicos hasta grandes grietas (Figura 1).

Las especies con alta especificidad de roca parecen ser las más afectadas por las perturbaciones, y se extinguen localmente en las rutas de escalada. Además, la eliminación de las plantas y el suelo de las grietas impide una recolonización. (Schmera et al., 2018). Existe una reducción en la riqueza de especies de plantas en relación con la escalada, en las especies generalistas, pero no en las especializadas en roca (March-Salas et al., 2018).

La enorme cantidad de escaladores ha provocado conflictos entre los objetivos de la conservación de la naturaleza y las actividades recreativas (Müller et al., 2004). Aun así, normalmente, los escaladores no acceden a la meseta del acantilado, porque las rutas de escalada deportiva suelen terminar en la parte superior del acantilado (McMillan y Larson, 2002). El nivel de dificultad de una ruta está relacionado con la pendiente y la microtopografía del acantilado (Holzschuh, 2016).

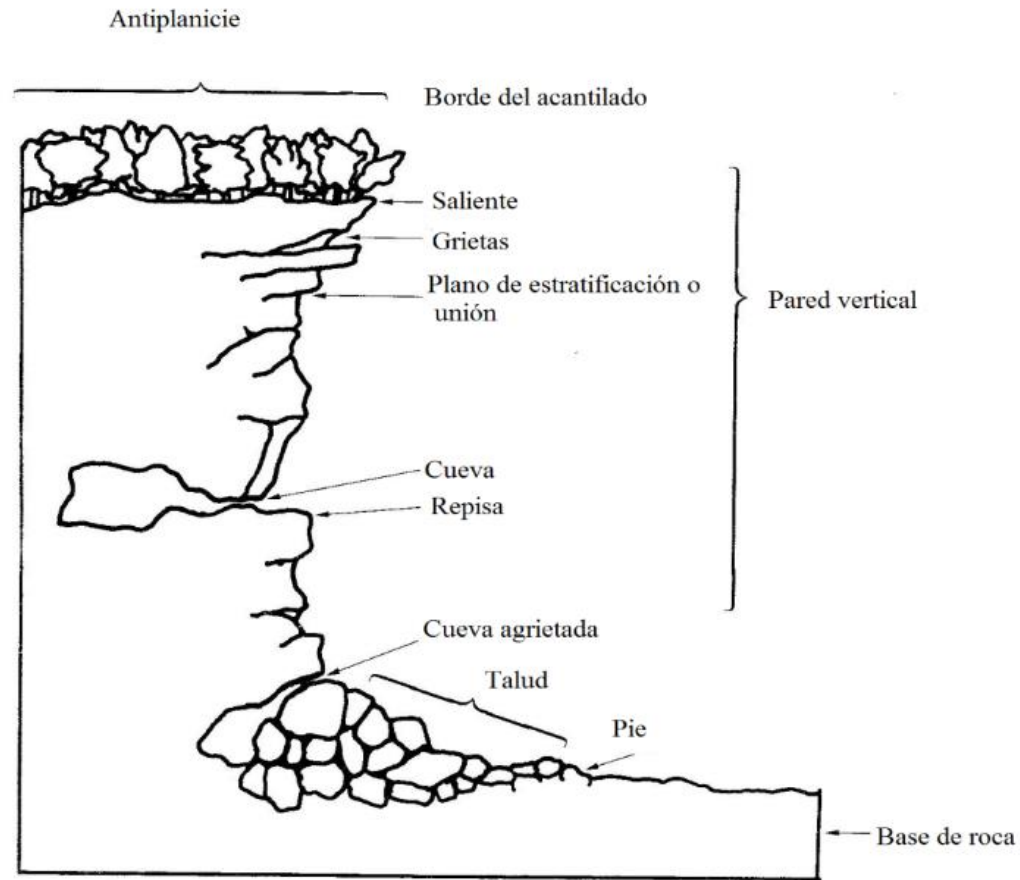


Figura 1. Ilustración de las características de un acantilado. (Larson et al., 2000).

La riqueza vegetal como parámetro ecológico en los ecosistemas de acantilados se concentra en superficies pequeñas, por lo que no es necesaria una gran área de superficie para que aumente la riqueza (Graham y Knight, 2004). Las actividades recreativas pueden causar un impacto en todos los elementos de los recursos en un ecosistema silvestre. El suelo, la vegetación, la vida silvestre y el agua son cuatro componentes principales que se ven afectados (Leung y Marion, 2000). Debido a que varios componentes ecológicos están interrelacionados, el impacto de la recreación en un solo elemento ecológico puede eventualmente resultar en efectos en múltiples componentes (Hammitt y Cole, 1998).

El estudio científico de los impactos de la recreación, también conocido como ecología de la recreación, es una respuesta de investigación a las brechas de conocimiento y las necesidades de información sobre los impactos cada vez mayores de los visitantes en la naturaleza y otras áreas protegidas (Tabla 1) (Leung y Marion, 2000). La ecología de la recreación se puede definir como el campo de estudio que examina, evalúa y monitorea los impactos de los visitantes, en áreas naturales protegidas, y sus relaciones con factores influyentes (Hammit y Cole, 1998).

Tabla 1. Componentes de la ecología de la recreación

Componentes ecológicos				
	Suelo	Vegetación	Fauna silvestre	Agua
Efectos directos	Compactación	Reduce la altura y el vigor Pérdida de cobertura	Alteración de hábitat Pérdida de hábitat	Introducción de especies exóticas
	Pérdida de capa orgánica	Pérdida especies frágiles Pérdida árboles y arbustos	Introducción de especies exóticas Acoso a fauna silvestre	Aumento turbidez Aumenta el ingreso de nutrientes
	Pérdida de minerales	Daño a corteza de árboles Introducción de especies exóticas	Modificación del comportamiento Desplazamiento por agua, comida o refugio	Aumenta nivel bacterias patógenas Altera calidad
	Reduce la humedad	Cambios en la composición	Reduce salud y vigor Disminuye rangos de reproducción	Reduce salud ecosistemas acuáticos
	Reduce la porosidad	Alteración de microclima	Aumenta la mortalidad	Cambios en la composición
Efectos indirectos o derivados	Acelera erosión			Crecimiento excesivo de algas
	Altera actividad microbiana	Aceleración erosión del suelo	Cambios en la composición	

2.7 Estudios similares

Sobre la base de todos los estudios publicados, la evidencia de los efectos de la escalada en roca sobre la biodiversidad de las plantas vasculares, los líquenes, los invertebrados y las aves, poseen tendencia, pero no es concluyente. La proporción de estudios que no encontraron evidencia de los efectos negativos de la escalada en roca disminuye si solo se consideran estudios bien controlados (Holzschuh, 2016; McMillan A. & Larson W., 2002).

Es importante destacar que las diferencias sistemáticas en la microtopografía, la pendiente, la exposición e insolación pueden conducir a diferencias en riqueza y abundancia de especies entre acantilados con escalada y sin escalada y que no están relacionados con la escalada deportiva en roca (Kuntz y Larson, 2006; Clark y Hessel, 2015).

Los primeros estudios que evalúan el impacto de la escalada en roca sobre la vegetación, se publicaron a mediados de los años 90's. Uno de los primeros fue de Nuzzo (1995), y menciona que la escalada en el noroeste de Illinois, Estados Unidos, afecta la abundancia de *Salidago* sp. Sin embargo, este estudio no consideró la variable de dificultad, ni cobertura. Kelly y Larson (1997), descubrieron que la escalada reducía la abundancia y la frecuencia de árboles, sólo evaluaron rutas de graduación principiante, de 5.7 a 5.9 YDS.

Un año después se publican dos artículos; Farris (1998), plantea que la escalada deportiva reduce la cobertura de la vegetación en Minnesota. Camp y Knight (1998), son los primeros en evaluar que la riqueza y la abundancia se ven perjudicadas con la escalada. McMillan (2002; 2003) plantea que la escalada deportiva afecta negativamente la riqueza y la abundancia o densidad vegetal, pero sin afectar el porcentaje de cobertura. Rusterholz et al. (2004) y Müller et al. (2004) comienzan con los estudios en el Macizo del Jura, ambos concluyendo que la escalada deportiva afecta la riqueza, la cobertura y la abundancia de especies vegetales.

Posteriormente, en el mismo lugar, Baur (2007), analiza el impacto de todas las clases de dificultades YDS en los líquenes, y publica que sus análisis no difieren en la riqueza, cobertura, ni en la densidad o abundancia de especies. Un año antes, Kuntz y Larson (2006) reportan diferencias significativas en la riqueza de los acantilados con y sin escalada, evaluando todo el rango de dificultad en los escarpados de Niágara y relacionando las diferencias de vegetación a la microtopografía. Vogler y Reisch (2011) mencionan que la escalada afecta a la estructura de la población y a la variación genética de *Draba aizoides*. Sin embargo, puede que la escalada mejore la dispersión de sus semillas. Adams y Zaniewski (2012) manifiestan la reducción de riqueza y abundancia de líquenes en los acantilados de la península de Sibley en Ontario, Canadá. Ruby (2015) agrega que la escalada en roca afecta a la cobertura de las comunidades plantas vasculares y no vasculares.

Luego de todos los análisis para conocer si la escalada en roca posee un efecto en la escalada, por primera vez Clark y Hessler (2015), consideran la intensidad de uso de escalada (del inglés *Climbing Use Intensity* o CUI) como variable, dividida en clases de baja, media y alta intensidad de uso, evaluando todo el rango de dificultad. Resultando que la riqueza y la densidad de especies de líquenes se ve afectado, además de la cobertura de las especies vegetales. Tessler y Clark (2016) realizan el primer estudio sobre el impacto del búlder sobre la vegetación asociada, concluyendo que tiene un efecto negativo sobre la riqueza y la cobertura de las especies vegetales.

Después de revisar artículos respecto del tema, Holzschuh (2016) comenta que, todavía no hay pruebas suficientes de que la escalada en roca tiene efectos en la vegetación, esto hace difícil poder guiar el manejo en las áreas de práctica. Posterior a la publicación de este artículo, la intensidad de escalada comenzó a ser una de las variables más importantes a considerar para evaluar el impacto de la escalada sobre la vegetación, para eso Lorite et al. (2017), en la ausencia de datos detallados sobre el número de escaladores por sector, decide utilizar a un juez experto para conocer cuál de los 3 sectores de escalada presente la mayor

y menor frecuencia de uso de escalada, también consideró que las muestras de las parcelas sin escalada deben estar al menos a 5 metros de la ruta de escalada, esto para evitar las diferencias de exposición y pendiente. Ese mismo año, en España, March-Salas et al. (2018) plantean una nueva metodología para el muestreo de vegetación de acantilados, que consiste en muestrear la ruta de escalada con cuadrantes y que a los costados de la ruta de escalada se muestree la vegetación sin escalada, considerando que el escalador tiene un ancho de movimiento que va de 1 m a 2 m.

Schmera et al. (2018) retoma los estudios del macizo del Jura en Suiza, ahora considerando la intensidad de escalada como variable predictora, comentando que las tres categorías de intensidades que integró arrojaron que a medida que la intensidad aumentaba, más se afectaba la riqueza de las comunidades de plantas y de caracoles de piedra caliza. Posteriormente March-Salas (2019, Datos sin publicar) mejora su nuevo método a largo plazo que corresponde al cuadrante de muestreo con parcelas con y sin escalada, dejando entre las áreas de toma de datos un área de amortiguación o buffer, para evitar la homogeneidad de la muestra.

Además, de los más recientes estudios, Covy (2019) encontró que la escalada en roca también tiene impactos negativos en la diversidad de la comunidad de aves de acantilado, incluyendo algunos cambios en el comportamiento de algunas especies de aves (Covy, 2020). Holzs Schuh (2016) menciona que la mayoría de los estudios revisados poseen diferencias sistemáticas entre los acantilados con escalada y los que no poseen. No se propuso hasta el año 2018 por March-Salas un método de muestreo que disminuya las diferencias entre los acantilados con y sin escalada, considerando un solo cuadrante.

2.8 Uso del magnesio en la escalada en roca

Corresponde a un polvo blanco esponjoso que consta de hidróxido de carbonato de magnesio ($1-4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3-5\text{H}_2\text{O}$), que hasta hace unos pocos años atrás aún se consideraba sólo un impacto visual (Camp y Knight, 1998; Adams y Zaniewski, 2012; Clark y Hessel, 2015). Luego en la revisión que hace Holzschuh (2016), menciona el potencial daño químico que podría ocasionar. Hasta el 2014, solo existía un estudio del posible impacto químico del magnesio hecho por Fickert (2014), quien investigó el aumento potencial del pH del suelo debido al magnesio y no encontró diferencias entre el pH del suelo de los acantilados con y sin escalada. Li et al. (2001), mencionan que es probable, en escenarios naturales, que cada escalador deje una pequeña cantidad de magnesio en la roca, contribuyendo al depósito de una capa resbaladiza de carbonato de magnesio. Hepenstrick et al. (2020) también confirman que se mantiene magnesio en los agarres de escalada. Según Kinzel (1983), el impacto potencial debería ser interdependiente con la química de la roca, ya que las condiciones ácidas de la roca silíceas (por ejemplo, granito) contrastan fuertemente las propiedades alcalinas del magnesio, mientras que las condiciones alcalinas en la roca carbonática (por ejemplo, piedra caliza o dolomita), están más en línea con las propiedades químicas del magnesio. Hepenstrick et al. (2020) comprueban que el uso de magnesio en la escalada en roca de silicato (granito) posee un efecto negativo en la germinación y sobrevivencia de helechos y musgos en Tesino, al sur de Suiza. Schuster et al. (2001) comentan que existe una gran diferencia en las actitudes que representan a dos grupos de escaladores; los tradicionales y los deportivos y que existe una actitud purista en los escaladores tradicionales, más que en los deportivos. Esta actitud purista está representada por la congruencia entre las actitudes de los recreacionistas y de las decisiones políticas determinadas como apropiadas por los gerentes o manejadores. Çetinkaya et al. (2021) muestran que el aumento de la densidad de magnesio en las superficies rocosas tiene un impacto negativo en la calidad visual percibida y la disposición de los participantes a escalar.

3. JUSTIFICACIÓN

México es un país megadiverso (Mittermeier, 1997), esto atribuido a los diferentes factores físicos que establecen la vegetación como la orografía, climas, hidrología y la ubicación del país entre los reinos biogeográficos neártico y neotropical (Rzedowski, 1978). Se estima que ocupa el 4° lugar mundial en riqueza florística (Villaseñor, 2003), la cual incluye casi 23,000 especies de plantas vasculares, con un endemismo del 52% (Rzedowski, 1998). Esta diversidad está distribuida en 2,804 géneros (7.8% endémicos) y 304 familias (Villaseñor, 2004). La lista florística para el Estado de Nuevo León es de 3,175 especies, 1,031 géneros y 158 familias de plantas vasculares al 2008 (Villarreal y Estrada, 2008). La necesidad de documentar la flora es fundamental para respaldar numerosas investigaciones biológicas, tanto básicas como aplicadas (Vázquez-García et al., 2004). Los ecólogos han demostrado el impacto de numerosas actividades recreativas al aire libre, como el ciclismo de montaña (Thurstone y Reader, 2001), montañismo (Willard y Marr, 1970) y senderismo (Potito y Beatty, 2005), sobre estructura de la vegetación. La participación en las actividades de senderismo y montañismo se triplicó entre 1966 y 1979 (Hammit y Cole, 1987). Las paredes de roca se impactan poco a poco al escalar y/o mejorar progresivamente la escalada mediante la eliminación de vegetación, suelo o rocas sueltas de los puntos de apoyo de los pies y de las manos (Attarian y Keith, 2008).

Entre los principales mecanismos para llevar a cabo la conservación de la biodiversidad se encuentra la creación de áreas protegidas, pues tienen el potencial de abarcar amplios hábitats y ecosistemas (Ubilla, 2002). La conservación de la biodiversidad es una de las más importantes directrices del desarrollo sustentable (WCED, 1987) y finalmente el turismo, considerado una actividad de bajo impacto en la vida silvestre y acorde con la conservación (Lane, 1994). Las directrices del consejo de conservación de flora y fauna de la Unión Europea consideran los acantilados de piedra caliza como hábitats de "importancia europea" (Directiva 92/43 / CEE del Consejo, 1992).

4. HIPÓTESIS

Se espera menor riqueza, cobertura y abundancia vegetal en los acantilados de El Potrero Chico con presencia de escalada deportiva.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Determinar los efectos de la escalada deportiva sobre la flora y la vegetación vascular en El Potrero Chico.

5.2 Objetivos específicos

Identificar las especies de las comunidades vegetales en los acantilados de El Potrero Chico.

Determinar las diferencias en riqueza, cobertura y abundancia de las comunidades vegetales en las zonas con escalada y sin escalada.

Identificar las variables ecológicas que pueden determinar la riqueza, cobertura y abundancia de las comunidades vegetales.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Área de Estudio

6.1.1 Localización

El Parque Recreativo Potrero Chico es un área de escalada ubicada en el Municipio de Hidalgo, Nuevo León. Se encuentra en el borde septentrional del Área Natural Protegida Estatal Sierra el Fraile y San Miguel, la cual posee una extensión de 23,506.35 Ha y se encuentra ubicada entre los 25°53'10" N y 100°33'44.5" W, abarcando los municipios: García, Abasolo, Hidalgo General Escobedo, El Carmen y Mina. (Fig. 2) presentando altitudes que van entre 800 a los 2,360 msnm.

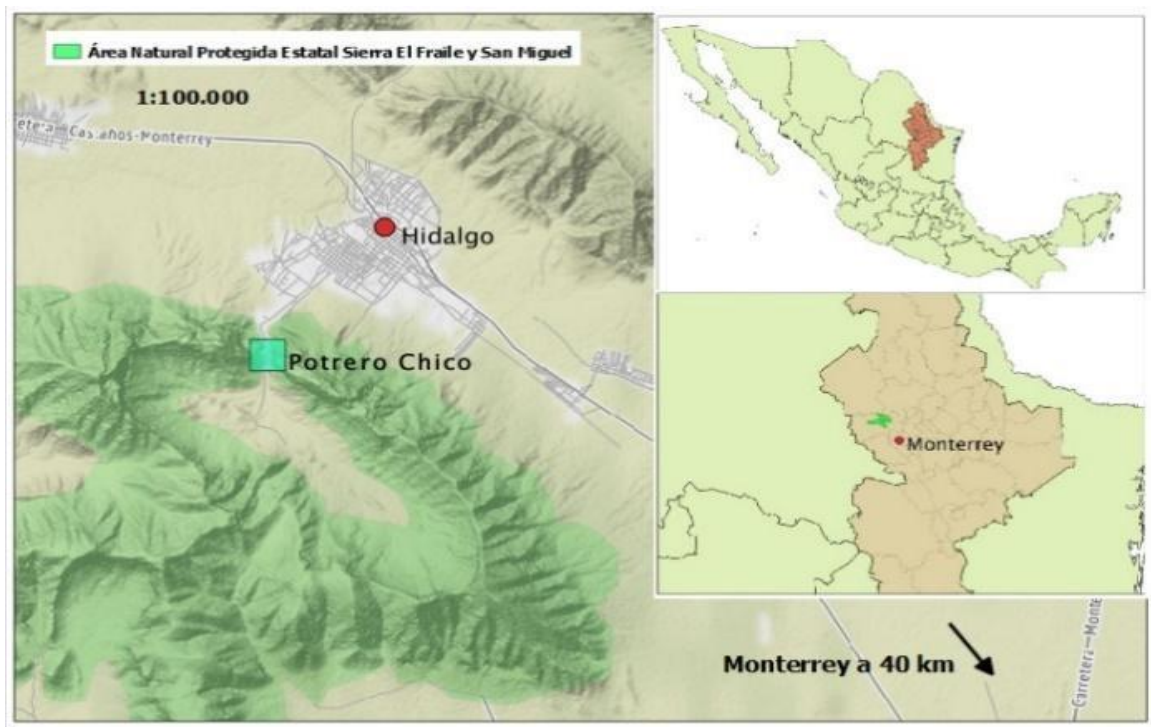


Figura 2. Localización del área de estudio.

En total en EPC se pueden encontrar 24 sectores de los cuales fueron muestreados 10 en las siguientes coordenadas (Tabla 2):

Tabla 2. Coordenadas geográficas de sectores de escalada muestreados.

Sectores muestreados	Coordenadas geográficas
1. The Virgin Canyon	25°56'58.51"N – 100°28'41.38"W
2. Buzz Rock	25°57'15.71"N – 100°29'01.66"W
3. Wonder Wall	25°57'00.65"N – 100°28'36.80"W
4. Cañón de los Lobos	25°57'02.00"N – 100°28'32.02"W
5. Land of the free	25°57'06.76"N – 100°28'53.57"W
6. Mota Wall	25°56'50.51"N – 100°28'33.20"W
7. La Ola	25°56'54.21"N – 100°28'29.60"W
8. Blubber Wall	25°56'43.04"N – 100°27'51.73"W
9. Fitness Cave	25°56'32.61"N – 100°27'52.03"W
10. Outrage Wall	25°56'52.56"N – 100°28'38.38"W

6.1.2 Fisiografía

El área de estudio pertenece a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental ubicada en la subprovincia “Sierras y Llanuras Coahuilenses” con topofomas de Sierras y Valles (INEGI, 2020).

6.1.3 Geología

La Sierra Madre Oriental esta está formada por un macizo montañoso rugoso, angosto y alargado, situado en el oriente de la República Mexicana, que emerge de la planicie costera del Golfo de México y se yergue con cumbres que sobrepasan los 2,500 m sobre el nivel del mar, que luego descienden de altura hacia el poniente y pasan a un extenso altiplano situado en el centro del país. Estas montañas están constituidas por rocas sedimentarias de origen marino, calizas y lutitas, principalmente de la era mesozoica (INECC, 2007).

6.1.4 Edafología

En general, en la subprovincia fisiográfica “Sierras y Llanuras Coahuilenses” predominan los leptosoles, que son suelos de origen residual, poco desarrollados, someros (no exceden los 10 cm de profundidad) y pedregosos, pueden tener roca continua en o muy cerca de la superficie (INEGI, 2020). El calcio que contienen puede inmovilizar los minerales, lo cual junto con su poca profundidad y alta pedregosidad, limita su uso agrícola si no se utilizan técnicas apropiadas, por lo que debe preferirse mantenerlos con su vegetación original (INEGI, 2007).

6.1.5 Hidrología

El ANP se encuentra situada en la región hidrológica “Río Bravo”, dentro de la cuenca “Río Bravo-San Juan”, subcuencas Río Pesquería y Río Salinas. Las aguas del Potrero de García se dirigen al sur hacia el Río Pesquería, por un arroyo llamado “Arroyo Blanco” o “El Pedregoso”. Las aguas del Potrero Chico se dirigen al Norte hacia el Río Salinas, por un arroyo llamado “Arroyo de potrero chico” cuyo nacimiento se encuentra al interior del potrero (CONAGUA, 2018).

6.1.5 Climatología

El clima es semicálido-subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (ACw1), de 400 a 600 mm de precipitación promedio anual. Los vientos predominantes van en dirección noreste – suroeste, por lo que las laderas Este en Hidalgo, Abasolo, El Carmen y García; que están a barlovento son más húmedas debido al fenómeno de lluvia orográfica. Por el contrario, Las laderas Oeste en García y Mina; que se encuentran a sotavento, son notoriamente más secas debido al fenómeno de sombra orográfica. La temperatura media anual en la zona es de 22 °C, el mes más caluroso es junio con temperatura promedio de 28 °C y el más frío es enero con 15 °C. La precipitación media anual es de 860 mm, el mes más húmedo es septiembre con un promedio de 289 mm de precipitación y el más seco es enero con 21 mm de precipitación (NASA, 2020).

6.1.7 Vegetación

La vegetación que se presenta en el área de estudio es principalmente matorral submontano, aunque también pueden encontrarse matorral micrófilo, matorral desértico rosetófilo, matorral submontano, bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de pino-encino y bosque de pino. El matorral submontano está integrado por especies arbustivas altas o árboles bajos de afinidad neotropical, donde se mezclan especies inermes y algunas espinosas. A pesar de su fisonomía relativamente homogénea, presenta variantes en su composición a lo largo del gradiente latitudinal. Se extiende hasta el bosque de encino en cañones con mayor humedad donde se mezcla con *Quercus fusiformis*, *Q. canbyi* y *Q. polymorpha*. (Estrada et al., 2017). Los arbustos tienen alturas de 2 a 4 m, las especies dominantes son: *Amyris madrensis*, *Caesalpinia mexicana*, *Diospyros texana*, *Havardia pallens*, *Helietta parvifolia*, *Neopringlea integrifolia*, *Cordia boissieri* y *Zanthoxylum fagara*. Son comunes además especies como *Vachellia rigidula*, *Senegalia berlandieri*, *Bernardia myricifolia* y *Lantana aphyllifolia*. En los sitios más xéricos y suelos pedregosos se presentan colonias aisladas de *Agave lecheguilla*. También hay individuos aislados de especies arbustivas como *Dasyliirion texanum* y *Hesperaloe funifera*. Las especies de cactáceas son poco frecuentes es el caso de individuos aislados de *Echinocereus poselgeri*, *Epithelantha micromeris* y *Ferocactus hamatacanthus*. El estrato herbáceo tiene altura de 5 a 40 cm, las especies más frecuentes son gramíneas como *Digitaria ciliaris* y *Tridens muticus*, además de hierbas como *Evolvulus alsinoides*, *Ipomoea costellata* y *Meximalva filipes*. (Estrada et al., 2012)

6.1.8 Fauna

Se reportan un total de 179 especies de vertebrados, de los cuales 5 son anfibios, 37 son reptiles, 22 son mamíferos y 115 son aves. Ardilla de Nuevo León *Sciurus alleni*, Cacomixtle norteño *Bassariscus astutus*, Coyote *Canis latrans texensis*, Liebre Cola Negra *Lepus californicus*, Murciélago *Myotis velifer inacutus* (migratoria), Murciélago cola de ratón *Tadarida brasiliensis* (migratoria).

6.2 Método

Desde noviembre de 2019 hasta octubre de 2020 se realizó la toma de datos en el Parque recreativo El Potrero Chico. Se muestrearon 12 rutas de escalada en 10 de los 24 sectores de EPC con 3 cuadrantes por rutas, equivalentes a 36 cuadrantes de 3x3 m con un total de 324 m², que corresponden a 72 parcelas en total, 2 parcelas por ruta de 3 m² (1 de escalada y 1 sin escalada), de los cuales 108 m² corresponden a acantilados con escalada (C), 108 m² en acantilados sin escalada (U) y 108 m² de sector de amortiguación o buffer. Se abordaron todas sus exposiciones, sectores nuevos y clásicos.

Se realizaron caminatas de acercamiento a cada sector desde los 5 minutos a *Wonder Wall* hasta los 90 minutos hacia *Fitness Cave*, ambas sólo de ida. Además de cubrir todo su rango de dificultades desde el 5.8 hasta el 5.13a en YDS y de intensidades de la escalada en CUI.

El libro “El Potrero Chico” publicado el año 2019 por Frank Madden fue la base de consultas. Este libro posee información de las rutas de escalada con sus respectivas graduaciones de dificultad, estrellas de calidad de la ruta (0 a 4 estrellas), las cuales ayudó para conocer la intensidad de la escalada.

Cada ruta de escalada fue considerada un transecto, que tuvo al menos 15 metros de altura hasta 40 metros y que tuvo 3 metros de la ruta más cercana a los costados (March-Salas, et. al. 2019. Datos sin publicar). Por lo tanto, en caso de que la vía haya sido un multilargo, se tomó la graduación YDS (*Yosemite Decimal System*) del primer largo o mono largo de la ruta. Los sectores de escalada se definen como aquellos que poseen al menos una vía o ruta protegida con pernos y chapas (*bolts* o seguros fijos) con una clasificación YDS entre 5.6 y 5.15b en dificultad, que figuren en las guías de escalada y se consideran las rutas creadas hasta el año 2019.

Se eligió un transecto de cada clase de dificultad YDS, las cuales son; "principiante" (5.6 - 5.9), "intermedio" (5.10a - 5.11d), "avanzado" (5.12a - 5.13d) y "experto" (5.14a - 5.15d). Además, se muestrearon rutas con diferentes niveles de intensidad de escalada o intensidad potencial de uso de escalada (CUI, del inglés *climbing use intensity*) en función del tiempo requerido para caminar hacia un área de acantilado (T) y la popularidad o calidad de la escalada deducida por el número de estrellas (0–4) asignadas en la guía de escalada (S)(Clark & Hessel, 2015) (Fig. 3).

$$CUI = \text{Log}_{10} \left([S + 1] * \left(\left[\frac{1}{T} \right] * 100 \right) \right).$$

Figura 3. Índice Intensidad de Uso de Escalada (Clark & Hessel, 2015)

El CUI es un índice distribuido normalmente que va desde 0.31 a 2.22. Debido a la incertidumbre al desarrollar un índice de intensidad de uso, se agrupa la intensidad de uso por cuartil, donde los valores dentro del primer cuartil (el más bajo) se clasificaron como 'bajo' (0.31 a 0.7875), el segundo cuartil como 'moderado' (0.7876 a 1.265), el tercer cuartil como 'alto' (1.266 a 1.7425) y cuarto cuartil como uso 'extremo' (1.7426 a 2.22). A las zonas "sin escalada" (U) se les asignaron valores CUI de 0. Se usó estas clases para clasificar nuestra muestra de rutas por la posible intensidad de uso (Clark & Hessel, 2015).

Madden (2019) en su guía de escalada propone la clasificación de calidad de rutas en El Potrero Chico con un máximo de 4 estrellas, siendo una clasificación subjetiva y realizada en base a la clasificación de dificultad del Sistema Decimal de Yosemite (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación subjetiva de calidad de las rutas en El Potrero Chico realizada por Madden (2019).

Ruta clásica en EPC, la debes hacer si escalas el grado	★★★★
Una escalada genial - Altamente recomendada	★★★
Buena ruta - Vale la pena escalar si estas en el sector	★★
Ruta regular - Si tienes tiempo, por qué no?	★
Sucia, inestable, pobremente equipada o sólo un misterio - No necesariamente es una mala ruta, simplemente no es algo que buscar	Sin estrellas

6.3 Diseño del muestreo

Se implementó una metodología de estudio que nos permite proyectar a largo plazo el muestreo de la vegetación, mediante el establecimiento de cuadrantes de 3 x 3 m en tres diferentes niveles, en la Base de la ruta (B), en Medio (M) y Alto o Top (T) (March-Salas et al., 2018) (Figura 4). El cuadrante fue realizado con tubos de PVC de $\frac{1}{2}$ ' en la parte superior. Las parcelas fueron realizadas con cordón blanco de 3 mm a medida que se unían o tejían las subparcelas.

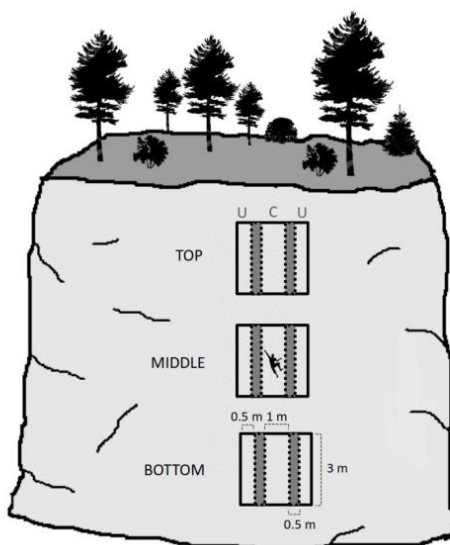


Figura 4. Diseño del muestreo con tres parcelas de 3m x 3m a tres niveles de altura Bajo (B), Medio (M) y Alto o Top (T). Las zonas grises corresponden a las subparcelas que no se muestrean. (March-Salas et al., 2019. Datos sin publicar).

Este cuadrante está dividido en cinco columnas o parcelas verticales; una parcela central de escalada de 1 m de ancho (C, del inglés *Climbed*) donde la intensidad de la escalada es máxima, dos parcelas inmediatamente adyacentes donde no se realizaron muestreos, que cada una corresponde a 0.5 m de ancho y otras dos parcelas laterales sin intensidad de uso de escalada en cada lado, también de 0.5 m de ancho (U, del inglés *Unclimbed*), que representan áreas sin frecuencia

por escaladores. Cada parcela de escalada (C) tuvo doce subparcelas de 0.5 x 0.5 m y las dos parcelas laterales de no escalada (U) tuvieron seis subparcelas, respectivamente. (Figura 5). Este método, por la cercanía de las parcelas escaladas (C) y las no escaladas (U) nos permite disminuir las posibles diferencias en las características físicas del acantilado, como la pendiente y la exposición (March-Salas et al., 2018). Después del muestreo, se clasificaron por su área de distribución, conociendo las especies nativas, endémicas o introducidas. Además, de conocer el porcentaje de especies espinosas.

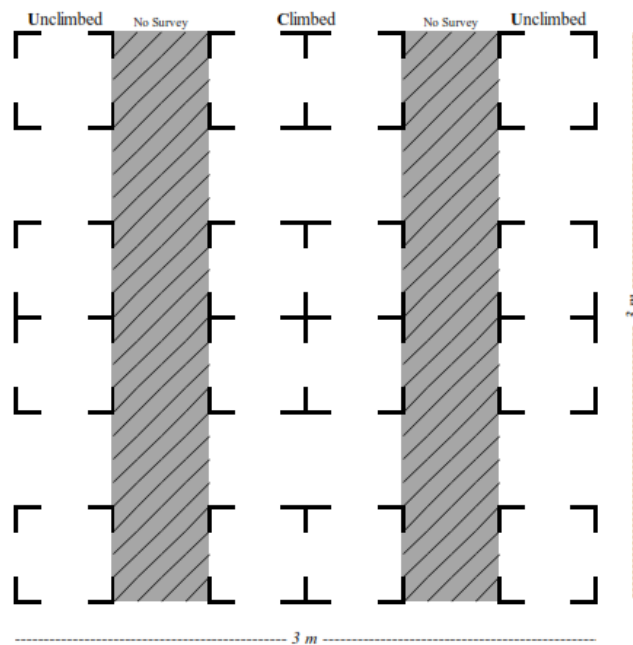


Figura 5. Cuadrante de 3m x 3m con subparcelas de 0.5m x 0.5m. Los bordes negros corresponden a cinta adhesiva o marcas con magnesio para fijar el cuadrante (March-Salas et al., 2019. Datos sin publicar).

Cada subparcela de 0.5 x 0.5 m fue fotografiada para ayudar a la identificación de especies. Cada fotografía fue archivada e identificada con un código para facilitar la extracción de información (March-Salas et al., 2019. Datos sin publicar). Cuando las rutas no fueron rectas ascendentes y tuvieron algún movimiento lateral, la chapa (*bolt*) fue el punto medio para centrar el cuadrante.

Cada fotografía tomada de la subparcela fue renombrada con la siguiente formula:

XXX_xxxNN_YY_XXN

XXX = Esto representa las tres iniciales de cada uno de los 24 sectores de escalada de El Potrero Chico (Ej, The Virgin Canyon, TVC).

xxx = Corresponde a las iniciales de la pared en cada sector en caso de que corresponda. Los sectores que solo posean la pared homónima se repetirán en minúsculas las tres letras del sector.

NN = Es el número correspondiente al orden en el cual se muestreo la ruta (Ej, 01, 07, 12). El nombre original de la ruta irá en el archivo Excel.

YY = Los dos últimos dígitos del año (Ej, 19, 20)

XXN = Corresponde a cuadrante (T, M o B), siguiendo por la columna de la subparcela (L, C o R) y finalmente, por el número de la subparcela en relación con su columna.

Para facilitar la toma de datos en campo y permitir luego una fluida y ordenada sistematización de ellos se tomó la terminología de Martí-Salas et al. (2019, Datos sin publicar). Cada subparcela del cuadrante tuvo la siguiente terminología; C, para las subparcelas centrales correspondientes a las zonas de escalada, y cada subparcela tendrá un número del 1 al 12. (12 subparcelas de 0.25 m²; C1 a C12) y L para las subparcelas del extremo izquierdo, numerada del 1 al 6 (L1 a L6) y R para las subparcelas del extremo derecho, numeradas del 1 al 6 (R1 a R6) (Figura 6). Las columnas L y R (*Left* y *Right*, respectivamente) corresponden a las columnas de las zonas sin escalar (U, *unclimbed*) y la columna C, corresponde a la columna de las zonas de escalada. De esta manera serán tomados los datos en campo en un formato rápido y sencillo de cada subparcela.

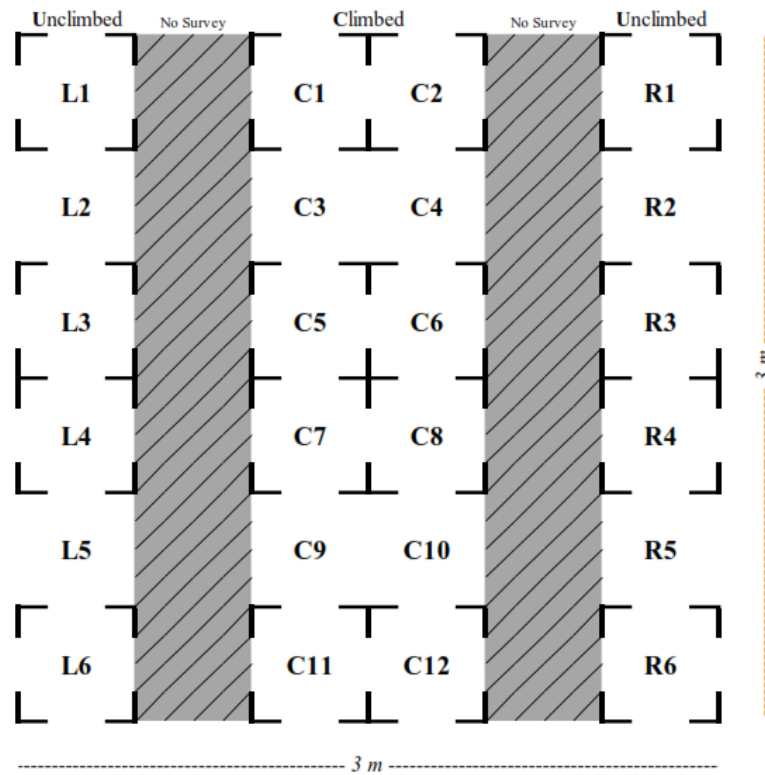


Figura 6. Para la toma de datos, se toma el nombre de cada columna como referencia. 'C' para zona de escalada y 'L' y 'R' para las zonas no escaladas (U), correspondiente a la izquierda y a la derecha del cuadrante. Los números representan la posición de la sub subparcela 0.5m x 0.5m dentro de cada cuadrante.

Para la instalación del cuadrante se utiliza equipo técnico de escalada y de rapel. Para el ascenso son utilizadas dos cuerdas dinámicas de 9.8 mm y de 9.4 mm, en donde la cuerda de 9.8 fue utilizada para asegurar al escalador al momento de equipar la ruta con cintas exprés y posteriormente, la cuerda de 9.4 mm fue puesta en la reunión (dos o más anclajes) al final de la vía. Para la sujeción del cuadrante se utilizó una cinta *daysi chain*, mosquetones sin seguro y un cordón de 6 mm con un nudo *prusik* para regular el nivel. (Figura 7)



Figura 7. Instalación del cuadrante y fotografiado de subparcelas con y sin escalada.

6.4 Variables ecológicas

Las variables dependientes para determinar el posible efecto de la escalada deportiva sobre la vegetación fueron la riqueza, la cobertura y la abundancia o densidad vegetal. La riqueza se va a entender como el número total de especies diferentes presentes en una comunidad (Hurlbert, 1971). La cobertura o dominancia esta generalmente determinada por el área de la copa y la abundancia o densidad, se define como el número de individuos por especies que se encuentra por cuadrante muestreado (Lamprecht, 1990). Para la mejor interpretación del comportamiento de los datos de especies con respecto a las variables ambientales, se utilizó la cobertura y la abundancia relativa (ter Braak, 1998) (Fig. 8).

$\text{Cobertura Relativa}_i$ $CR_i = (C_i / \Sigma C_i) \times 100$	$\text{Abundancia Relativa}_i$ $AR_i = (A_i / \Sigma A_i) \times 100$
--	---

Figura 8. Donde CR_i es la cobertura relativa de la especie i respecto a la cobertura total, C_i es el área de copa de la especie i y ΣC_i es la sumatoria de las coberturas de todas las especies. AR_i es la abundancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total, A_i es el número de individuos de la especie i y ΣA_i es la sumatoria del número de individuos de todas las especies (Alanís et al., 2020).

6.5 Variables físicas o ambientales

Para evaluar las variables físicas que mejor reflejen su influencia en la estructura de la vegetación de acantilados, se clasificó cada cuadrante según la presencia de escalada (con o sin escalada), la intensidad de escalada en CUI, la dificultad y el porcentaje de microhábitats (fisuras o agujeros). Los factores físicos locales incluirán en cada cuadrante: (1) pendiente y (2) exposición. Para medir la pendiente, se considera el eje vertical (pared roca, acantilado) que es perpendicular al suelo como 0° , por lo que el grado de la pendiente va en aumento a medida que se acerca al eje horizontal (plano de suelo). Para la exposición se utilizó 4 clases; 1) Norte, 2) Este, 3) Sur y 4) Oeste.

6.6 Análisis estadístico

Se hizo traspaso de información (sistematización) a una hoja de cálculo Excel para ordenar los datos previos a los diferentes análisis a realizar. Si las pruebas de normalidad arrojaban datos sin distribución normal, se habría transformado los datos, utilizando función logaritmo o raíz cuadrada para una curva de Gauss normalizada. Si los datos transformados aún no arrojaban distribución normal, se habrían realizado pruebas no paramétricas. Posteriormente, se realizó una prueba de T de Student con las parcelas escaladas y sin escalada. Luego se realizaron pruebas de ANOVA de un factor por intensidad y por dificultad. También, se realizaron pruebas de ANOVA de dos factores para las parcelas respecto la intensidad y dificultad, esto con la riqueza, cobertura y abundancia. Mediante la técnica de clasificación, se obtuvo la similitud y disimilitud utilizando MVSP. Se utilizó modelos lineales en programa SPSS de IBM para observar correlaciones y regresiones (riqueza, cobertura y abundancia de especies) con las variables físicas (pendiente, exposición y el porcentaje de microhábitat) y las variables intensidad de escalada y dificultad (Clark & Hessler, 2015). Para conocer cuáles son las variables que organizar los patrones de distribución de las especies en los acantilados de El Potrero Chico, considerando las parcelas con escalada, sin escalada y las variables físicas en la riqueza, cobertura y abundancia de la comunidad, se utilizó el software multivariado de correspondencia canónica CANOCO (CCA).

7. RESULTADOS

La ruta de escalada con mayor riqueza fue *Let me introduce you* en el sector de La Ola con exposición Oeste con una media de 9 especies. *Will the wolf survive?* en el sector Cañon de Los Lobos de exposición norte fue la ruta con mayor abundancia con una media de 15 y finalmente, la ruta *Gracie Bosch* ubicada en el sector *Buzz Rock* con exposición Este fue la ruta con mayor cobertura vegetal con una media de 6.46%.

7.1 Flora

La abundancia total fue de 578 plantas, de las cuales 170 estuvieron presente en los acantilados con escalada y 408 en los acantilados sin escalada. Con un total de 63 taxones, que corresponden a 30 familias y 52 géneros (ver anexo, listado florístico). Con una riqueza media de 1.45 ± 2.02 especies/m². 37 especies se encontraron en los acantilados con escalada, mientras que en los acantilados sin escalada con 52 especies. Las especies más frecuente fueron *Agave lechuguilla* (21), *Chrysactinia pinnata* (19), *Stenaria nigricans* (17) y *Cheilanthes stanleyi* (16), encontradas tanto en sectores con escalada como sectores sin escalada. Las menos frecuentes fueron *Echeveria elegans* (1), *Echinocereus enneacanthus* (1), *Pinguicula gracilis* (1) y *Sedum palmeri* (1), todas encontradas en sectores sin presencia de escalada. *Polygala* sp. Se presentó 15 veces en las parcelas sin escalada y sólo 1 en parcela con escalada en Fitness Cave. Esta especie sólo se registró en los acantilados con la mayor pendiente entre 0° y 9° respecto al eje ascendente del escalador.

Respecto al porcentaje de cobertura en las parcelas con escalada la media fue de 3.5% y de 15.1% para parcelas sin escalada y la especie con la mayor cobertura fue *Agave lechuguilla*. El 14.3% de las especies registradas corresponden a plantas espinosas de las familias *Leguminosae*, *Bromeliaceae*, *Cactaceae* y *Asparagaceae*.

De las 63 especies registradas el 65% son especies nativas de México, 19% corresponden a especies endémicas de la región, 14% con área de distribución desconocida, ya sea por la no identificación de la especie o la poca información disponible y solo una especie exótica *Portulaca oleracea* o verdolaga, introducida desde Europa (Velazco, 2011).

Se realizó la indagación de los estados de conservación de las 63 especies descritas y 4 de ellos se encuentran en alguna categoría de riesgo descritas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, los cuales son *Agave bracteosa* (A) que se encuentra en condición de amenazada (esta categoría coincide parcialmente con la categoría vulnerable de la clasificación de IUCN), *Echeveria elegans* (P), que está en Peligro de Extinción (coincide con las categorías de peligro crítico y en peligro de extinción de la clasificación de la IUCN), y finalmente, *Brahea dulcis* (Pr) y *Dasyllirion berlandieri* (Pr), ambas sujetas a protección especial (puede incluir a las categorías de menor riesgo de la IUCN).

7.2 Efecto de la escalada deportiva

Con los datos obtenidos de las variables dependientes de riqueza, cobertura y abundancia se realizó una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. Para nuestras variables de riqueza ($p=0.004$), cobertura ($p=0.000$) y finalmente abundancia ($p=0.024$), indican que los datos no se comportan con normalidad (Tabla 4). Por lo tanto, se efectúa una transformación de los datos, utilizando el método de raíz cuadrada.

Tabla 4. Pruebas de normalidad para las variables sin transformar de riqueza, cobertura y abundancia de raíz cuadrada.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Riqueza	,130	72	,004	,927	72	,000
Cobertura	,184	72	,000	,853	72	,000
Abundancia	,113	72	,024	,921	72	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Posterior a la transformación con raíz cuadrada de los datos, se realizó nuevamente la prueba de normalidad. Esta vez, los resultados de las pruebas de Kolmogorov-Smirnov señalan para la variable de riqueza $p=0.200$, para cobertura $p=0.087$ y para la variable de abundancia $p=0.200$ (Tabla 5). Estos resultados indican la posibilidad de continuar con las pruebas paramétricas.

Tabla 5. Pruebas de normalidad para datos transformados con raíz cuadrada para variables de riqueza, cobertura y abundancia.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Riqueza_rz	,080	72	,200 [*]	,974	72	,146
Cobertura_rz	,097	72	,087	,965	72	,043
Abundancia_rz	,062	72	,200 [*]	,970	72	,087

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Se realizaron las pruebas de homogeneidad de varianzas de Levene y posteriormente, la prueba de T de Student para conocer el comportamiento de las variables riqueza, cobertura y abundancia frente al efecto de la escalada deportiva. Resultando que las varianzas son homogéneas para las 3 variables. Luego se observa el resultado de las Pruebas de T de Student y se aprecia una diferencia significativa en cada una de las variables. Esto quiere decir que la riqueza ($p=0.000$), la cobertura ($p=0.000$) y la abundancia ($p=0.000$) se ven alteradas y afectadas por la presencia de escalada en los acantilados de El Potrero Chico (Tabla 6).

Tabla 6. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas y prueba de T de Student para las variables riqueza, cobertura y abundancia.

	Prueba de Levene		Prueba de T Ind.
	F	Sig.	Sig.
Riqueza	0.391	0.534	0.000
Cobertura	1.871	0.176	0.000
Abundancia	0.161	0.690	0.000

Es posible apreciar la gran diferencia en las medias de las diferentes variables, siendo la más contrastante la abundancia, respecto a los acantilados con escalada versus a los acantilados sin escalada (Figura 9).

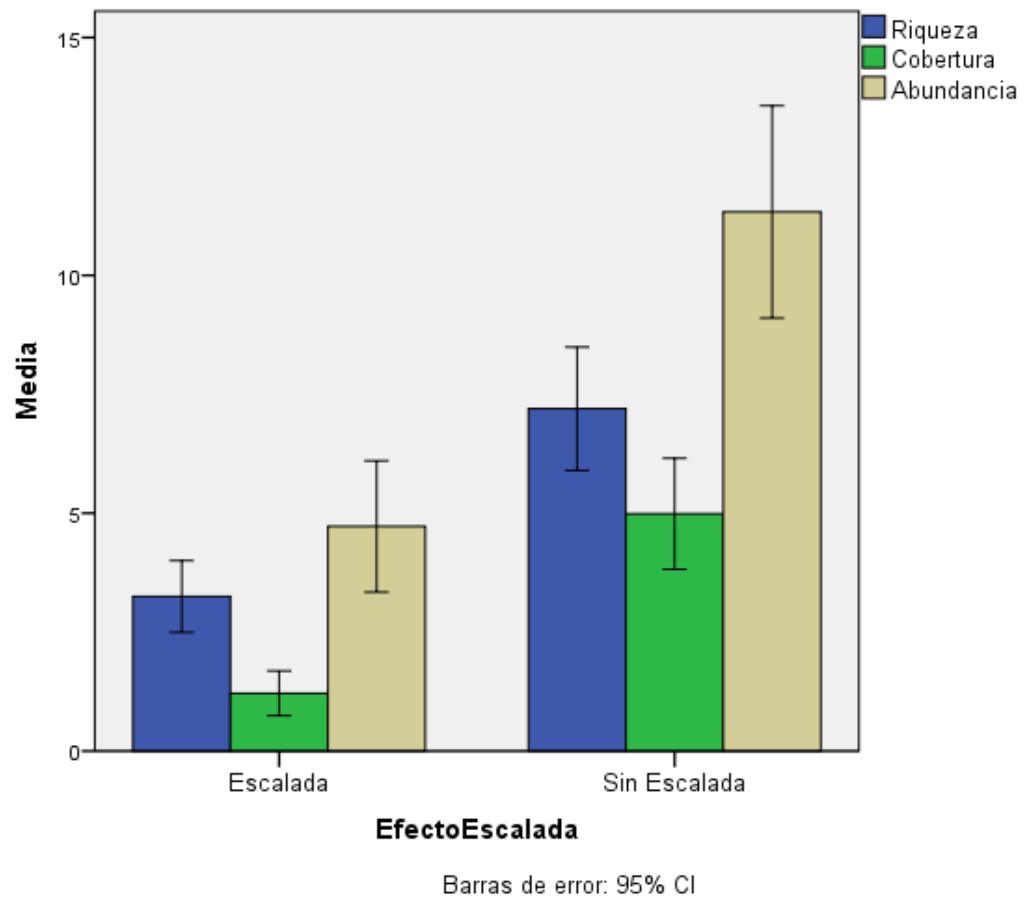


Figura 9. Gráfica de medias para las variables riqueza, cobertura y abundancia en acantilados con escalda y sin escalada.

7.2.1 Intensidad de escalada

Se realizó la prueba de ANOVA para las variables de riqueza, cobertura y abundancia respecto a la intensidad de escalada, que agrupa 4 clases; Bajo (1), Moderado (2), Alto (3) y Extremo (4). Se ha comprobado, que la intensidad de uso de escalada (CUI), ejerce un efecto en la riqueza ($p=0.000$), la cobertura ($p=0.000$) y la abundancia vegetal ($p=0.000$). (Tabla 7).

Tabla 7. ANOVA para riqueza, cobertura y abundancia respecto a la intensidad de uso de escalada (CUI).

ANOVA Intensidad de Escalada		
	F	Sig.
Riqueza	9.114	0.000
Cobertura	12.278	0.000
Abundancia	10.074	0.000

7.2.2 Dificultad de escalada

Se realizó la prueba de ANOVA para las variables de riqueza, cobertura y abundancia respecto al grado de dificultad de escalada deportiva en *Yosemite Decimal System*, que agrupa 4 clases; "principiante" (5.6 - 5.9), "intermedio" (5.10a - 5.11d), "avanzado" (5.12a - 5.13d) y "experto" (5.14a - 5.15d). Se revisan todas las graduaciones en EL Potrero Chico, quedando solo 3 clases de dificultad, debido a que no existen rutas de dificultades nivel "experto". Se ha comprobado, que la dificultad de escalada ejerce un efecto en la riqueza ($p=0.000$), la cobertura ($p=0.000$) y la abundancia vegetal ($p=0.000$). (Tabla 8)

Tabla 8. ANOVA para riqueza, cobertura y abundancia respecto a la dificultad de escalada.

ANOVA Dificultad		
	F	Sig.
Riqueza	9.630	0.000
Cobertura	16.321	0.000
Abundancia	11.493	0.000

Las 3 clases de dificultad evaluadas en El Potrero Chico presentaron una disminución de las medias de riqueza, cobertura y abundancia respecto a los acantilados sin escalada, siendo las rutas principiante (5.6 - 5.9) las que presentaron la mayor media. Las rutas de clase avanzado fueron las que presentaron menor riqueza, cobertura y vegetación. (Figura 10).

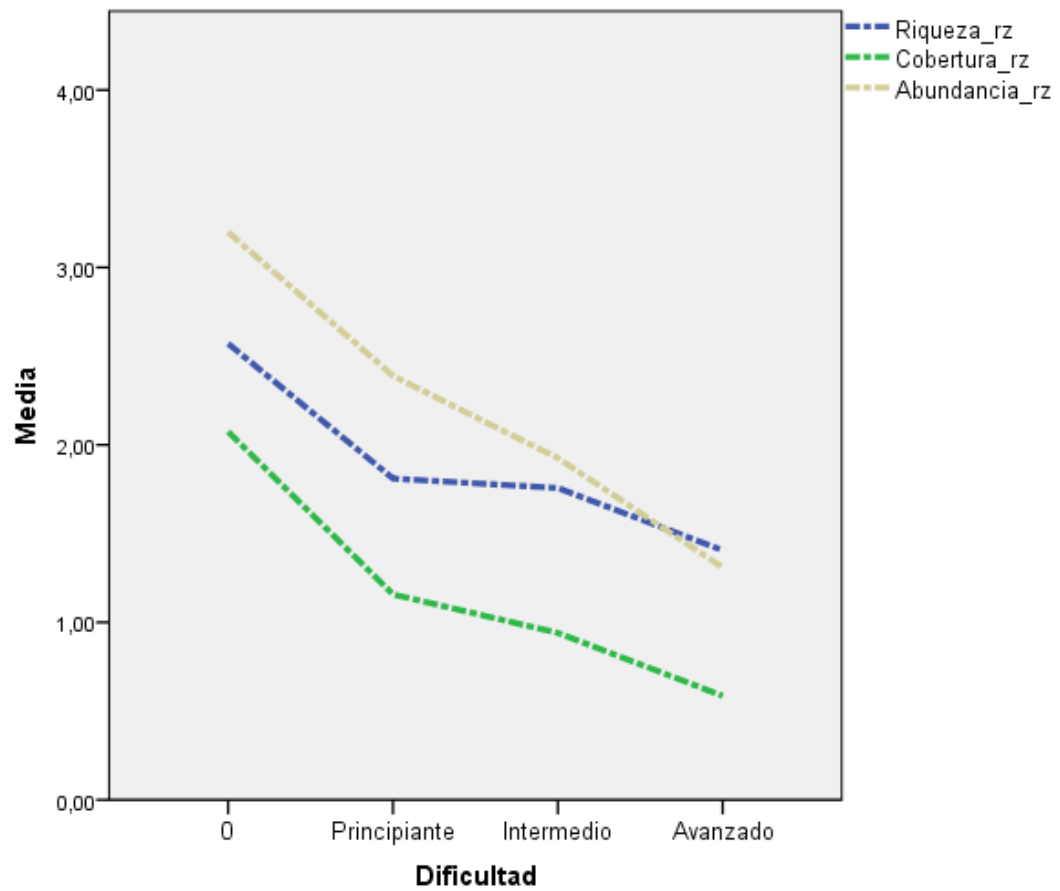


Figura 10. Gráfica de medias de riqueza, cobertura y abundancia agrupadas en clases de dificultad de escalada.

7.2.3 ANOVA para exposición

Se realizó la prueba de ANOVA para las variables de riqueza, cobertura y abundancia respecto a la exposición. Esto para poder determinar si los diferentes acantilados con exposición norte, sur, este u oeste presentan alguna diferencia en las variables. Resultando que ni la riqueza ($p=0.065$), ni la cobertura ($p=0.132$), ni la abundancia ($p=0.354$), se ve afectada por la exposición, por lo que no presentan diferencia significativa (Tabla 9).

Tabla 9. ANOVA para riqueza, cobertura y exposición respecto a la exposición de los acantilados en El Potrero Chico.

ANOVA Exposición		
	F	Sig.
Riqueza	2.526	0.065
Cobertura	1.937	0.132
Abundancia	1.102	0.354

7.2.3 ANOVA para pendiente

Se obtuvieron pendientes entre los 0° y 30° en las 72 parcelas muestreadas y se realizó una prueba de ANOVA para las variables de riqueza, cobertura y abundancia respecto a la pendiente. Esto para poder determinar si las diferentes pendientes encontradas en los acantilados de EPC afectan en la riqueza, cobertura y abundancia. Resultando que la riqueza ($p=0.020$) y la abundancia (0.002), poseen una diferencia significativa respecto a las pendientes. Sin embargo, la cobertura ($p=0.056$), no se ve afectada por la pendiente. (Tabla 10).

Tabla 10. ANOVA para riqueza, cobertura y exposición respecto a la pendiente en los acantilados de El Potrero Chico.

ANOVA Pendiente		
	F	Sig.
Riqueza	2.362	0.020
Cobertura	1.944	0.056
Abundancia	3.215	0.002

7.2.4 ANOVA de dos factores con Intensidad de escalada (CUI) y Dificultad.

Se realizó ANOVA de dos vías para riqueza, cobertura y abundancia para poder conocer si ambos factores de intensidad de escalada (CUI) más la dificultad generan algún efecto sobre la vegetación. Se observa que existe un efecto de la intensidad de escalada en la riqueza ($p=0.000$). La dificultad no presenta un efecto en la riqueza ($p=0.427$) y ambos factores si representan un impacto en la riqueza vegetal ($p=0.005$) (Tabla 11).

Tabla 11. Análisis de varianza de dos vías para riqueza con intensidad de escalada (CUI) y dificultad.

ANOVA dos factores		
Riqueza	F	Sig.
Intensidad_CUI	8.784	0.000
Dificultad	0.870	0.427
Intensidad_CUI*Dificultad	3.788	0.005

Se realizó la misma prueba para cobertura, resultando que la intensidad de escalada, la dificultad, y la interacción de ambas variables, no tienen efecto en la cobertura, (Tabla 12),

Tabla 12. Análisis de varianza de dos vías para cobertura con intensidad de escalada (CUI) y dificultad.

ANOVA dos factores		
Cobertura	F	Sig.
Intensidad_CUI	2.526	0.073
Dificultad	0.999	0.378
Intensidad*Dificultad	1.279	0.293

Finalmente, se realizó la prueba de ANOVA de dos vías para la variable de abundancia (densidad), resultando que la dificultad no presenta un efecto en la abundancia vegetal. Sin embargo, la intensidad de escalada y la interacción de ambos factores presentan un efecto significativo sobre esta variable (Tabla 13).

Tabla 13. Análisis de varianza de dos vías para abundancia con intensidad de escalada (CUI) y dificultad.

ANOVA dos factores		
Abundancia	F	Sig.
Intensidad_CUI	6.369	0.001
Dificultad	2.973	0.064
Intensidad*Dificultad	4.275	0.002

7.3 Efectos condiciones físicas

Se realizaron correlaciones con las variables físicas, las ecológicas y las de efecto de escalada, intensidad (CUI) y dificultad. Resultando que las correlaciones más fuertes las tuvo el porcentaje de microhábitat con las 3 variables ecológicas; riqueza (C. de Pearson = 0.835, $R^2 = 0.698$), abundancia (C. de Pearson = 0.852, $R^2 = 0.725$) y cobertura (C. de Pearson = 0.671, $R^2 = 0.451$) (Tabla 14).

Tabla 14. Correlaciones entre porcentaje de microhábitat con riqueza, cobertura y abundancia.

		Riqueza	Cobertura	Abundancia	Porc_Microhabitat
Riqueza	Correlación de Pearson	1	,618**	,922**	,835**
	Sig. (bilateral)		,000	,000	,000
	N	72	72	72	72
Cobertura	Correlación de Pearson	,618**	1	,605**	,671**
	Sig. (bilateral)	,000		,000	,000
	N	72	72	72	72
Abundancia	Correlación de Pearson	,922**	,605**	1	,852**
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,000
	N	72	72	72	72
Porc_Microhabit	Correlación de Pearson	,835**	,671**	,852**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	
	N	72	72	72	72

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

La pendiente por su parte posee correlaciones débiles con las 3 variables ecológicas; riqueza (C. de Pearson = 0.324), cobertura (C. de Pearson = 0.354) y abundancia (C. de Pearson = 0.265). La intensidad de escalada y la dificultad presentaron correlaciones negativas frente a las variables de riqueza (C. de Pearson = -0.420; -0.499), cobertura (C. de Pearson = -0.482; -0.542) y abundancia (C. de Pearson = -0.403; -0.526). En relación a las diferentes exposiciones de los acantilados de El Potrero Chico, las variables ecológicas presentaron diferencias. La exposición sur fue la que presentó menor número de especies y de abundancia vegetal, siendo la cobertura de exposición este igual a la media de la exposición sur. La cobertura vegetal fue mayor en la exposición este. Las exposiciones norte y oeste fueron las que presentaron mayor abundancia vegetal. La exposición oeste fue la que presentó la mayor riqueza (Figura 11).

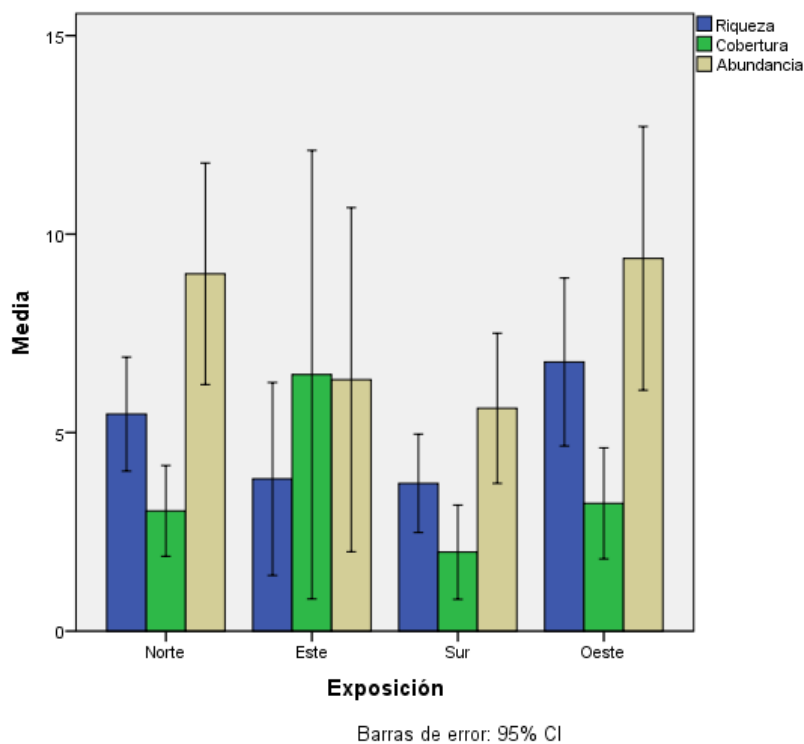


Figura 11. Gráfica de medias de riqueza, cobertura y abundancia vegetal respecto a las exposiciones de los acantilados de El Potrero Chico.

7.4 Análisis multivariados

7.4.1 Clasificación

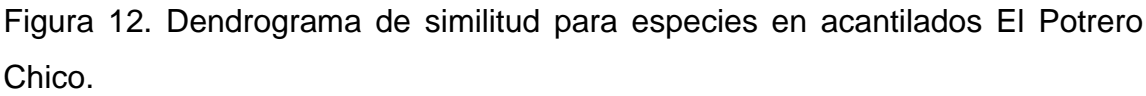
Con los datos de frecuencia relativa de las especies de cada parcela, se sometieron al análisis de similitud mediante el índice de Sørensen, generando una matriz de similitud-disimilitud para las 63 especies y 72 parcelas. La clasificación jerárquica generada con el análisis de conglomerados para las especies de los acantilados de El Potrero Chico generó 4 grandes grupos, considerando la presencia de escalada como el factor de agrupación y tomando como base el 15% de similitud. Los grupos son bastantes heterogéneos, destacando la clasificación con especies que sólo están presentes en acantilados con presencia de escalada, otro grupo con especies presentes en parcelas con y sin presencia de escalada, un grupo de especies sólo presentes en parcelas sin presencia de escalada y finalmente un grupo con pocas especies (Figura 12).

Grupo 1: Comprende sitios con especies que están presentes en los acantilados con y sin escalada, tales como; *Agave lechuguilla*, *Carlwrightia texana*, *Cheilanthes standleyi*, *Chrysactinia pinnata*, *Euphorbia prostrata*, *Lobelia* sp., *Helietta parvifolia*, *Stenaria nigricans*, *Tradescantia crassifolia*, *Selaginella pilífera*.

Grupo 2: Conformado principalmente por sitios que presentaron especies en los acantilados sin presencia de escalada, tales como; *Pinguicula gracilis*, *Gochnatia* sp., *Brickellia laciniata*, *Dasyllirion berlandieri*, *Opuntia engelmannii* y *Amyris madreensis*.

Grupo 3: Compuesto solamente por sitios que se presentaron especies en los acantilados con presencia de escalada, tales como: *Karwinskia humboldtiana*, *Jatropha dioica*, *Croton* sp., *Mirabilis* sp.

Grupo 4: Compuesto por sitios con una sola especie y que no tuvieron similitud con otros.



7.4.2 Ordenación

Con los datos de abundancia relativa, cobertura relativa, las variables físicas y las de escalada se realizó un análisis de gradiente directo, en este caso un análisis de correspondencia canónica. Previamente se comprobó el comportamiento lineal de las variables ecológicas, físicas y de escalada. Para la prueba se utilizan dos archivos en donde se concentran las especies con la abundancia relativa (bióticas) y en otro las variables abióticas. Se utilizó el programa CANOCO 4.5 para Windows y con ello obtener las correlaciones y los valores de los ejes. Posteriormente se utilizó el programa CanoDraw 4.0 para obtener las gráficas de los resultados obtenidos.

7.4.2.1 Abundancia relativa

El primer análisis realizado para la abundancia relativa de las especies nos muestra que las variables de escalada, dificultad y la intensidad de uso son determinantes para la distribución de la vegetación en los acantilados de El Potrero Chico. Por otra parte, la pendiente forma otro grupo importante. Las exposiciones también demuestran un patrón de distribución, especialmente la exposición oeste.

Se obtuvo una inercia total de 7.861 y con una suma de sus valores canónicos de 1.029 hasta el cuarto eje. La media de los ejes es 0.172, por lo que los dos primeros ejes nos van a representar una variabilidad de especies de un 4.9% y un 19.6% de la variabilidad especies-ambiente al primer eje y al segundo eje un 37.7%. Las correlaciones entre especies y variables ambientales fueron significativas, mostrando al primer eje una correlación de 0.852 y al segundo eje 0.810 (Tabla 15).

Ejes	1	2	3	4	Inercia Total
Valores propios	0.202	0.186	0.160	0.141	7.861
Correlación especies-ambiente	0.852	0.810	0.799	0.786	
Porcentaje de la varianza acumulada					
de las especies	2.6	4.9	7.0	8.8	
de la relación especies-ambiente	19.6	37.7	53.2	67.0	
Suma de todos los valores propios					7.861
Suma de todos los valores canónicos					1.029

Tabla 15. Valores propios y porcentajes de la varianza explicados por las especies y las variables ambientales en los cuatro ejes del ACC.

La escalada se correlacionó negativamente con las parcelas sin escalada. La dificultad (0.9055) y la intensidad o CUI (0.9219) tuvieron una fuerte correlación con la escalada. La pendiente, se correlacionó negativamente con el porcentaje de microhábitat (-0.4790). La intensidad de uso (CUI) tuvo una correlación fuerte con la dificultad de escalada (0.7354) (Tabla 16).

	Con escalada	Sin escalada	Pendiente	%Microhabitat	CUI	Dificultad	Norte	Sur	Este	Oeste
Con escalada	1									
Sin escalada	-1	1								
Pendiente	-0.0088	0.0088	1							
%Microhabitat	-0.3336	0.3336	-0.4790	1						
CUI	0.9210	-0.9210	-0.1348	-0.2530	1					
Dificultad	0.9055	-0.9055	0.1371	-0.3680	0.7354	1				
Norte	0.0425	-0.0425	0.2752	-0.0607	-0.0442	0.1872	1			
Sur	0.1351	-0.1351	-0.1786	-0.1068	0.2391	0.0488	-0.4175	1		
Este	-0.0800	0.0800	-0.1316	-0.1327	-0.0219	-0.1534	-0.3389	-0.1951	1	
Oeste	-0.1084	0.1084	-0.0464	0.2722	-0.1506	-0.1363	-0.4906	-0.2824	-0.2292	1

Tabla 16. Correlaciones entre las variables físicas y ambientales en los acantilados de El Potrero Chico.

Respecto al eje 1, la pendiente (-0.5886) y la intensidad de uso de escalada (CUI, 0.5441) tuvieron las correlaciones más altas. Al segundo eje, nuevamente la escalada, la intensidad de uso y la dificultad son las variables determinantes para los patrones de abundancia de las especies en los acantilados con escalada de El Potrero Chico (Tabla 17).

Tabla 17. Correlaciones entre las variables físicas y ambientales con los cuatro ejes de ordenación del análisis de correspondencia canónica.

	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4
Con esca	0.4460	0.5752	0.1576	-0.0939
Sin esca	-0.4460	-0.5752	-0.1576	0.0939
Pendient	-0.5886	0.2306	0.1555	-0.2887
%Microha	0.0071	-0.0753	-0.2435	0.1213
CUI	0.5441	0.5118	0.2106	-0.1992
Dificult	0.2703	0.4665	0.1232	-0.0776
Norte	-0.0251	-0.1542	-0.2468	-0.5947
Sur	0.2138	-0.1401	0.7375	0.1419
Este	0.2839	-0.0476	-0.2445	0.2595
Oeste	-0.3922	0.3419	-0.1981	0.3429

En el resultado gráfico del análisis de correspondencia canónica se puede distinguir la agrupación de las especies relacionadas a cada variable física y ambiental. Se observa la correlación de la dificultad, la escalada y la intensidad de uso que agrupan a *Croton* sp., *Rhamnus humboldtiana*, *Jatropha dioica*, *Mirabilis* sp. y *Polygala* sp. La pendiente con las especies; *Bernardia myricifolia*, *Bouvardia ternifolia*, *Selaginella pilífera*, *Tetramerium platystegium* y *Pinguicula gracilis*. La exposición oeste presenta otro grupo de especies, conformado principalmente por *Mammillaria heyderi*, *Scutellaria suffrutescens* y *Verbesina coahuilensis*. El porcentaje de microhábitat no fue relevante para la distribución de las especies (Figura 13).

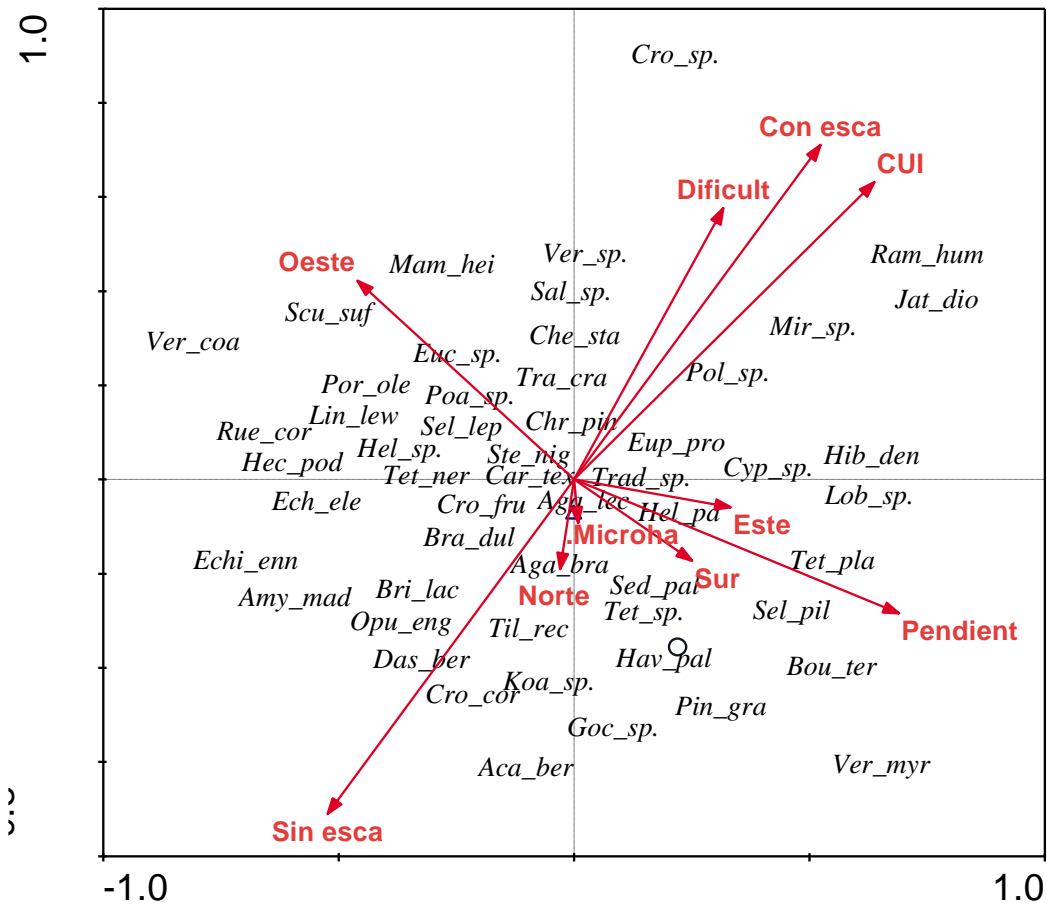


Figura 13. Diagrama de ordenación mostrando la distribución de las especies de muestreo en relación a las variables ambientales. Las flechas representan variables ambientales. La longitud de las flechas es proporcional a su importancia y el ángulo entre dos vectores refleja el grado de correlación entre variables. Todo esto sugiere que todo el conjunto de datos se rige por varios gradientes dominantes.

7.4.2.2 Cobertura relativa

El análisis realizado para la cobertura relativa de las especies nos indica que las variables de dificultad, la intensidad de uso y la pendiente son determinantes para la cobertura de la vegetación en los acantilados de El Potrero Chico. Las exposiciones demuestran un patrón de comportamiento para la cobertura de las especies, y prácticamente todas las exposiciones formando grupos.

Se obtuvo una inercia total de 8.139 y con una suma de sus valores canónicos de 1.181 hasta el cuarto eje. La media de los ejes es 0.199, por lo que los dos primeros ejes nos van a representar una variabilidad de la cobertura de las especies en un 5.8% y un 22.1% de la variabilidad especies-ambiente al primer eje y al segundo eje un 39.9%. Las correlaciones entre especies y variables ambientales fueron significativas, mostrando al primer eje una correlación de 0.848, al segundo eje una correlación de 0.815 y al tercer eje una correlación de 0.821 (Tabla 18).

Tabla 18. Valores propios y porcentajes de la varianza explicados por las especies y las variables ambientales en los cuatro ejes del ACC.

Ejes	1	2	3	4	Inercia Total
Valores propios	0.260	0.210	0.173	0.156	8.139
Correlación especies-ambiente	0.848	0.815	0.821	0.803	
Porcentaje de la varianza acumulada					
de las especies	3.2	5.8	7.9	9.8	
de la relación especies-ambiente	22.1	39.9	54.5	67.7	
Suma de todos los valores propios					8.139
Suma de todos los valores canónicos					1.181

Al igual que los resultados anteriores, la escalada se correlacionó negativamente con las parcelas sin escalada. La dificultad (0.8970) y la intensidad o CUI (0.9143) tuvieron una fuerte correlación con la escalada. La intensidad de uso (CUI) tuvo una correlación fuerte con la dificultad de escalada (0.7044) (Tabla 19).

	Con escalada	Sin escalada	Pendiente	%Microhabitat	CUI	Dificultad	Norte	Sur	Este	Oeste
Con escalada	1									
Sin escalada	-1	1								
Pendiente	-0.0511	0.0511	1							
%Microhabitat	-0.3641	0.3641	0.4713	1						
CUI	0.9143	-0.9143	0.0998	-0.2725	1					
Dificultad	0.8970	-0.8970	-0.2098	-0.3986	0.7044	1				
Norte	0.0453	-0.0453	-0.2792	-0.0449	-0.0719	0.2063	1			
Sur	0.1607	-0.1607	0.1766	-0.1246	0.2790	0.0550	-0.4200	1		
Este	-0.0614	0.0614	0.1552	-0.1508	-0.0005	-0.1401	-0.3288	-0.1939	1	
Oeste	-0.1509	0.1509	0.0338	0.2824	-0.1739	-0.1752	-0.4922	-0.2902	-0.2271	1

Tabla 19. Correlaciones entre las variables físicas y ambientales en los acantilados de El Potrero Chico.

Respecto al eje 1, la intensidad de uso de escalada (CUI, 0.7664) tuvo la correlación más alta. Al segundo eje la escalada, la pendiente fue la variable determinante para el patrón de distribución de la cobertura de las especies en los acantilados con escalada de El Potrero Chico (Tabla 20).

Tabla 20. Correlaciones entre las variables físicas y ambientales con los cuatro ejes de ordenación del análisis de correspondencia canónica.

	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4
Con escalada	0.6757	0.0461	0.1304	0.2253
Sin escalada	-0.6757	-0.0461	-0.1304	-0.2253
Pendiente	0.1012	0.6384	0.0793	-0.0808
%Microhab	-0.1650	0.0161	0.4366	0.0229
CUI	0.7664	0.0864	0.1729	0.0522
Dificultad	0.4616	-0.0286	0.0493	0.2262
Norte	-0.2929	-0.0483	0.4941	-0.2453
Sur	0.5073	-0.0312	-0.3765	-0.4133
Este	-0.0222	0.4371	-0.1257	0.2558
Oeste	-0.1159	-0.2565	-0.1169	0.4579

El diagrama del análisis de correspondencia canónica es posible apreciar la agrupación de las especies relacionadas a cada variable física y ambiental. Se observa la correlación de la dificultad, la escalada, la intensidad de uso (CUI) y la exposición sur, estas agrupan a *Mirabilis sp.*, *Croton sp.*, *Cheilanthes standleyi*, y *Polygala sp.* La pendiente se correlacionó con la exposición este con las especies; *Bernardia myricifolia*, *Jatropha dioica*, *Rhamnus humboldtiana*, *Bouvardia ternifolia*, *Tetramerium nerovsum* y *Agave lechuguilla*. Las parcelas sin escalada, el porcentaje de microhábitat y la exposición norte se correlacionaron y agrupan a; *Gochnatia hypoleuca*, *Linum sp.*, *Tillandsia recurvata* y finalmente,

la exposición oeste presenta otro grupo de especies, conformado principalmente por *Scutellaria suffrutescens*, *Verbesina coahuilensis*, *Opuntia engelmannii*, *Hechtia podantha* y *Amyris madreensis* (Figura 14).

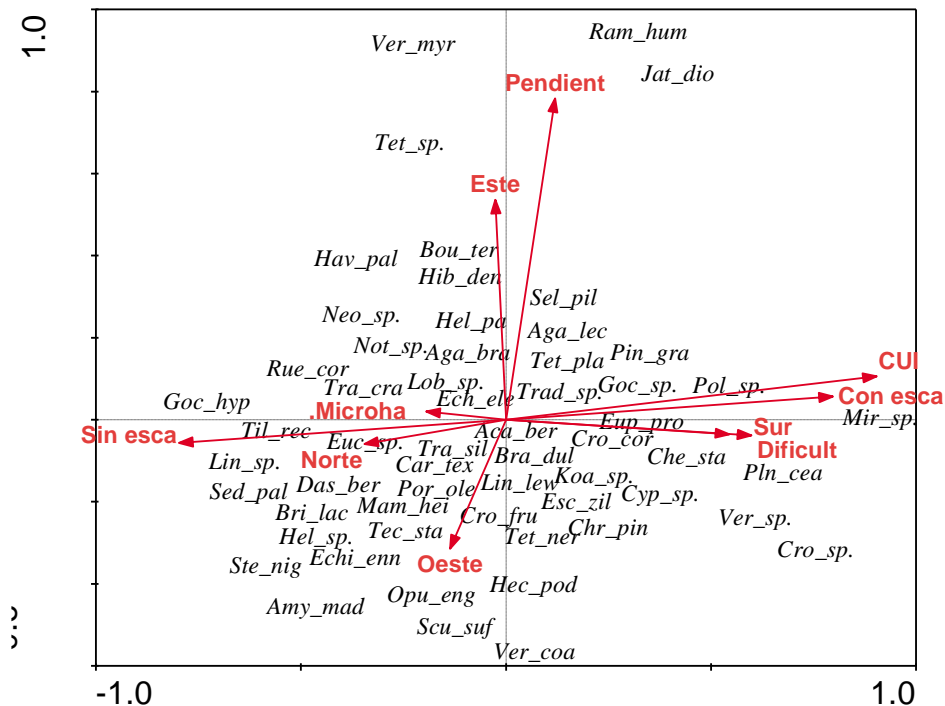


Figura 14. Diagrama de ordenación mostrando la cobertura relativa de las especies de muestreo en relación a las variables ambientales. Las flechas representan variables ambientales. La longitud de las flechas es proporcional a su importancia y el ángulo entre dos vectores refleja el grado de correlación entre variables. Todo esto sugiere que todo el conjunto de datos se rige por varios gradientes dominantes.

8. DISCUSIÓN

El presente trabajo corresponde al primer estudio que evalúa el impacto de la escalada deportiva sobre la vegetación de acantilados para Nuevo León y México. Además, de ser el primer estudio en obtener una lista de flora especialista de acantilados de El Potrero Chico en Hidalgo, N.L.

El listado generado representa 30 familias y 63 especies, demostrando la gran riqueza florística de los ecosistemas de acantilados de EPC y representando el 18% de las familias dicotiledóneas y el 38% de las monocotiledóneas de Nuevo León (Estrada et al., 2017). La riqueza de este estudio es comparable a los resultados obtenidos por López-Castillo (2018) para un ecosistema ripario en el río La Silla entre Monterrey y Guadalupe, en Nuevo León con 35 familias. Respecto a la riqueza de especies en caliza, este estudio superó al de Nuzzo (1998) con un total de 41 especies en roza caliza dolomita y al de Kuntz y Larson (2006) con 53 taxa. También obtuvo más riqueza que el primer estudio en el macizo del Jura en Suiza, con 44 plantas vasculares (Rusterholz et al., 2004), que Lorite et al. (2017) y March-salas (2018), ambos estudios con 34 especies. Superado después por Müller et al. (2004) con 78 especies y por Schmera et al. (2018) con 240 taxas en plantas vasculares.

Importante destacar que a pesar de que algunas vías existen hace más de 30 años, solo se encontró una especie introducida en un acantilado con exposición Este, esto se puede deber al paso del escalador en la pared o por efecto directo del viento. *Tradescantia sillamontana*, es la única especie que posee una distribución restringida al estado de Nuevo León (Velazco, 2011).

Los resultados de este estudio son congruentes con numerosos estudios que han evaluado los impactos de la escalada en roca sobre la vegetación, por lo que se acepta la hipótesis del presente estudio (Nuzzo, 1995; Kelly y Larson, 1997; McMillan y Larson, 2002; Baur et al., 2007; Clark y Hessler, 2015; Lorite et al., 2017; Schmera et al., 2018). Respecto a los efectos negativos que posee la escalada deportiva sobre la riqueza, los resultados coinciden con lo expresado por Camp y Knight (1998), McMillan y Larson (2002) y por todos los estudios realizados en el Macizo del Jura en Suiza (Müller, 2004; Rusterholz et al., 2004; Baur et al., 2007 y Schmera et al., 2018). Para March-Salas et al., (2018) existe una reducción en la riqueza de especies de plantas vasculares en relación con la escalada, sólo en las especies generalistas, no así en las especializadas en roca. La riqueza, también se vio afectada directamente por la intensidad de escalada, aunque no de manera lineal, siendo la intensidad de escalada alta y no extremo, la que poseyó la mayor diferencia.

La cobertura de las especies vegetales también se vio intervenida por la acción de la escalada deportiva, coincidiendo con los resultados de McMillan y Larson (2002), Ruby (2015) y Lorite (2017), siendo la variable que menos correlación tuvo con el porcentaje de microhábitat y la que menos significancia tuvo respecto a la intensidad de escalada y la dificultad para los análisis de varianza con dos factores. Rusterholz et al. (2004) también realiza pruebas de ANOVAs de un factor y de dos o más vías, obteniendo resultados similares, pero con la abundancia, mostrando una diferencia significativa en la prueba de una vía y luego, para el análisis de tres vías, la diferencia no fue significativa para la abundancia vegetal en el macizo del Jura, Suiza. Esto se puede deber a la falta de controles en las variables que pueden componer la escalada deportiva (Holzschuh, 2016), la intensidad de escalada y la dificultad no fueron variables suficientes para explicar la variación de la cobertura. Sin embargo, al igual que Clark y Hessler (2015), Lorite et al. (2017), Schmera et al. (2018) la intensidad de escalada, fue la variable que mejor puede explicar la afectación de la escalada deportiva a la riqueza, cobertura y abundancia vegetal en los acantilados de El Potrero Chico.

Una variable importante y que no se ha considerado en este estudio es el impacto del magnesio en la ecología del acantilado, comprobando por Hepenstrick et al. (2020), que posee un impacto negativo en la germinación y sobrevivencia de helechos y musgos. La abundancia fue la variable más sensitiva a los efectos de escalada deportiva, esto se puede deber a la erosión, la limpieza que los escaladores deportivos realizan en cada una de las rutas antes de equiparla y durante los inicios de cada temporada alta (esto comienza entre los meses de noviembre y agosto, terminando en marzo o abril) y que puede reducir el sustrato orgánico presente en los agujeros o fisuras y alterar el banco de semillas (March-Salas et al., 2018). La dificultad no fue una variable importante, ya que no afectó de manera significativa a la riqueza, cobertura y abundancia, pero esto puede ser debido a las diferencias en los ángulos de las pendientes de los acantilados, ya que posee una relación directa con la dificultad de la escalada (Holzschuh, 2016). De acuerdo a los estudios de Kuntz y Larson (2005), Holzschuh, (2016) y March-Salas et al. (2018) se confirma la importancia del porcentaje de microhábitat, para conocer los patrones de diversidad, siendo fundamentales para entender al riqueza, cobertura y abundancia. Además, como lo plantea do Carmo et al. (2016), la composición y heterogeneidad de las comunidades de plantas vasculares en los acantilados, esta modificada por las condiciones de micro relieve y la rugosidad de la roca (micro topografía).

En los acantilados del Parque Recreativo El Potrero Chico, se presenta una vegetación con un alto porcentaje de especies nativas, algunos endemismos representativos para el Estado, con sólo una presencia de especie exótica, *Portulaca oleracea* y ninguna planta invasora en la pared. Sin embargo, en los sectores más populares o cercanos al estacionamiento como La Virgen o Jungle Wall, se encontró en los senderos, en la base y pie de la pared a *Kalanchoe sp.*, que corresponde a un género introducido en México, pudiéndose tratar de *Kalanchoe daigremontiana*, que posee un parecido morfológico con su híbrido *K. houghtonii*, considerada una de las plantas exóticas invasoras de mayor expansión en los últimos tiempos y México se encuentra en el segundo lugar en el número de ocurrencias confirmadas, superado por Estados Unidos (Herrando-

Moraira, 2020). La preocupación radica en que esta especie pueda llegar a colonizar los ecosistemas de acantilados y que actualmente las especies invasoras son consideradas una de las principales amenazas a la biodiversidad (WWF, 2020).

Cada tipo de roca, dependiendo principalmente de su formación, posee un estilo de escalada diferente y cada territorio posee su propia cultura, incluyendo principios éticos que deben ser analizados y consensuados en conjunto con la sociedad, manejadores, escaladores e investigadores. La escalada deportiva trae consigo la discusión de cuál es el lugar o sector correcto para la instalación de este tipo de vías, ya que, a diferencia de la escalada tradicional, que de un principio es más purista y que no se genera una afectación permanente en la roca para asegurar. Rozzi (2008), que menciona un método sencillo que nos puede servir para un mejor entendimiento y posterior una adecuada gestión de un ecosistema o área natural, que se base en los hábitats (dónde vivimos), los hábitos (cómo vivimos) y los habitantes (quiénes somos), estos tres conceptos constituyen una unidad ética y también ecosistémica. Comprendiendo la interrelación de estos tres elementos será posible mejorar la toma de decisiones.

Como lo comenta Müller 2004, Baur et al. y March-Salas 2018, la escalada presenta cambios en la composición de la vegetación, dejando a algunas especies restringidas a los espacios sin la intervención del escalador como, *Pinguicula gracilis*, que corresponde a una especie rara de la familia *Lentibulariaceae* y *Dasyllirion berlandieri*, una especie bajo protección legal en México.

9. CONCLUSIONES

Esta investigación corresponde a un paso fundamental para la ecología de los acantilados en Nuevo León y México, especialmente en los ecosistemas que posean como sustrato la roca caliza. También representa un diseño para conocer los impactos de la escalada deportiva en un modelo de aproximación espacial, con la posibilidad de generar investigaciones ecológicas a largo plazo.

La escalada deportiva ejerce un efecto negativo en la flora y la composición vegetal en los acantilados de El Potrero Chico. La riqueza se ve alterada tanto por la intensidad de uso de escalada, pero no por la dificultad (pendiente). La cobertura no se ve afectada por la intensidad de uso de escalada, ni por la dificultad. Sin embargo, el tan solo hecho de realizar escalada, genera un impacto negativo en la cobertura vegetal. La abundancia fue el parámetro más sensible a la intensidad de escalada, pero no la dificultad (pendiente). Sin embargo, estas dos variables explican la gran variación que tiene la abundancia vegetal respecto de la escalada deportiva.

Es evidente y apreciable la fuerte influencia que ejercen los factores ambientales y físicos en los parámetros ecológicos y en la composición de la vegetación. Será inevitable que las actividades recreativas al aire libre aumentan en su popularidad y en consecuencia tendremos poco a poco pequeños impactos en la diversidad o ecología de especies presentes, ya que puede estar afectando su germinación, la sobrevivencia y el desarrollo de las plantas.

Los futuros planes y estudios de manejo o conservación deben tener en cuenta no solo las especies endémicas, que a menudo están más protegidas, sino también las especies generalistas, que pudiesen ser nativas, esto ayudaría a los esfuerzos para preservar la biodiversidad local y comprender completamente los impactos potenciales de las actividades recreativas como la escalada deportiva en los hábitats de acantilados.

10. IMPLICANCIAS Y RECOMENDACIONES

El escalador y la comunidad local poseen un rol fundamental en el nuevo entendimiento de la ecología de acantilados en El Potrero Chico, por lo que es necesario involucrarlos en la urgente gestión y manejo de los sectores de escalada en EPC. Se requiere continuar con los estudios científicos para poder mejorar la toma de decisiones en las acciones que se puedan desarrollar para conservar. Para lograr esto es debido divulgar el conocimiento y educar a la población residente y visitante.

Una excelente manera de minimizar y mitigar los impactos que se realizan en las actividades recreativas al aire libre, los siete principios éticos de No Deje Rastro o *Leave No Trace* y que el mundo de los escaladores poco a poco comienza a practicar y se ha visto un mejoramiento en el comportamiento de los escaladores en los sectores de escalada (Sharp et al., 2018).

Es deseable la formalización y estabilización de senderos para llegar a las rutas de escalada, ya que algunos pueden ser redundantes o afectar negativamente los recursos naturales o valores estéticos. Por lo que una propuesta sería minimizarlos o en algunos casos eliminar los que no se consideren esenciales. Se puede realizar un inventario de senderos y generar un mapa. Algunos senderos pueden estar destinados a estabilización o para soportar un tráfico de personas más pesado, mientras que otros pueden cerrarse para proteger los recursos sensibles y reemplazarse con senderos nuevos y redirigidos. Después de la selección y el mapeo, la señalización directamente en el parque sería el siguiente paso. Es importante que estos cambios se hicieran de la mano de los representantes locales de escalada, ya que sin estos se vuelve más complicado la dispersión de información de cambios deseados.

Los alcances del presente estudio se proyectan en las diferentes aristas que conforman El Potrero Chico, ya sean políticas, económicas, sociales y ecológicas. El propósito de las siguientes recomendaciones es brindar un ecosistema íntegro para los escaladores y la comunidad local. En primer lugar, considerar los estados de conservación que plantea la NOM-059 para cada especie. En segundo lugar, zonificar el área para la conservación de las comunidades que lo conforman y, por último, incluir a la comunidad escaladora y local en la gestión de EPC. La intensidad de uso de escalada como variable predictora es la que se debe gestionar para comenzar el establecimiento, germinación y distribución de las especies, por lo que las siguientes medidas, mencionadas en zonas intentan disminuir el impacto de la escalada deportiva sobre la flora y vegetación de acantilados en El Potrero Chico

Las tres zonas propuestas hacen referencia a aspectos éticos en el actuar de los escaladores, que van a variar dependiendo de los resultados del presente estudio:

Zona Roja: Alto impacto, se recomienda generar periodos de tiempo de descanso para estos sectores, evitando ser escalados en temporada alta, diciembre a febrero. En estos sectores se prohíbe la creación de nuevas rutas, sea cual sea la dificultad, estos corresponden a los sectores más cercanos al estacionamiento tales como, La Ola, Jungle Wall, Land of the free, EL Mirador, Wonder Wall y Virgin Canyon principalmente, esto con el fin de disminuir la frecuencia de escaladores a estos sectores. En caso de encontrar especies de aves en anidación o de flora en alguna categoría de conservación crítica propuesta en la NOM-059 se acude a cerrar temporalmente la ruta para permitir la reproducción de la especie. Estos sectores poseen las rutas mas conocidas de El Potrero Chico, que se encuentran habilitadas desde los años 90' y en cercanía del estacionamiento principal. Limpiezas periódicas de magnesio.

Zona Naranja: Medio impacto, son sectores con abundancia de especies como Buzz Rock y con especies protegidas como *Dasyllirion berlandieri* y raras, como la planta carnívora *Pinguicula gracilis* en la ruta famosa “Sendero Luminoso” en la pared norte del sector Land of the Free. En estas zonas se podrán equipar sólo rutas de dificultad alta o con pendientes cercanos al 0° o negativas, que estén aparentemente libre de vegetación rupícola, Evitar el uso de magnesio. La creación de nuevas rutas debe tener una distancia mínima entre ellas de 4 metros. Alejarse al menos 100 metros para orinar y 200 metros para defecar, realizando un hoyo de gato de 30 centímetros de profundidad, mezclar las fecas con tierra y volver a cubrir

Zona Verde: Bajo impacto, son los sectores con menos intensidad de escalada, ya sea por lejanía del estacionamiento, por ser sectores nuevos o por ser sectores con exposición sur. En estos sectores se aprueba la creación de nuevas rutas de escalada deportiva, considerando los aspectos ecológicos, de residuos y evitando la extracción intencionada de especies rupícolas. La creación de nuevas rutas debe tener una distancia mínima entre ellas de 4 metros. Alejarse al menos 50 metros para orinar y 100 metros para defecar realizar un hoyo de gato de 30 centímetros de profundidad, mezclar las fecas con tierra y volver a cubrir

Zonificación El Potrero Chico

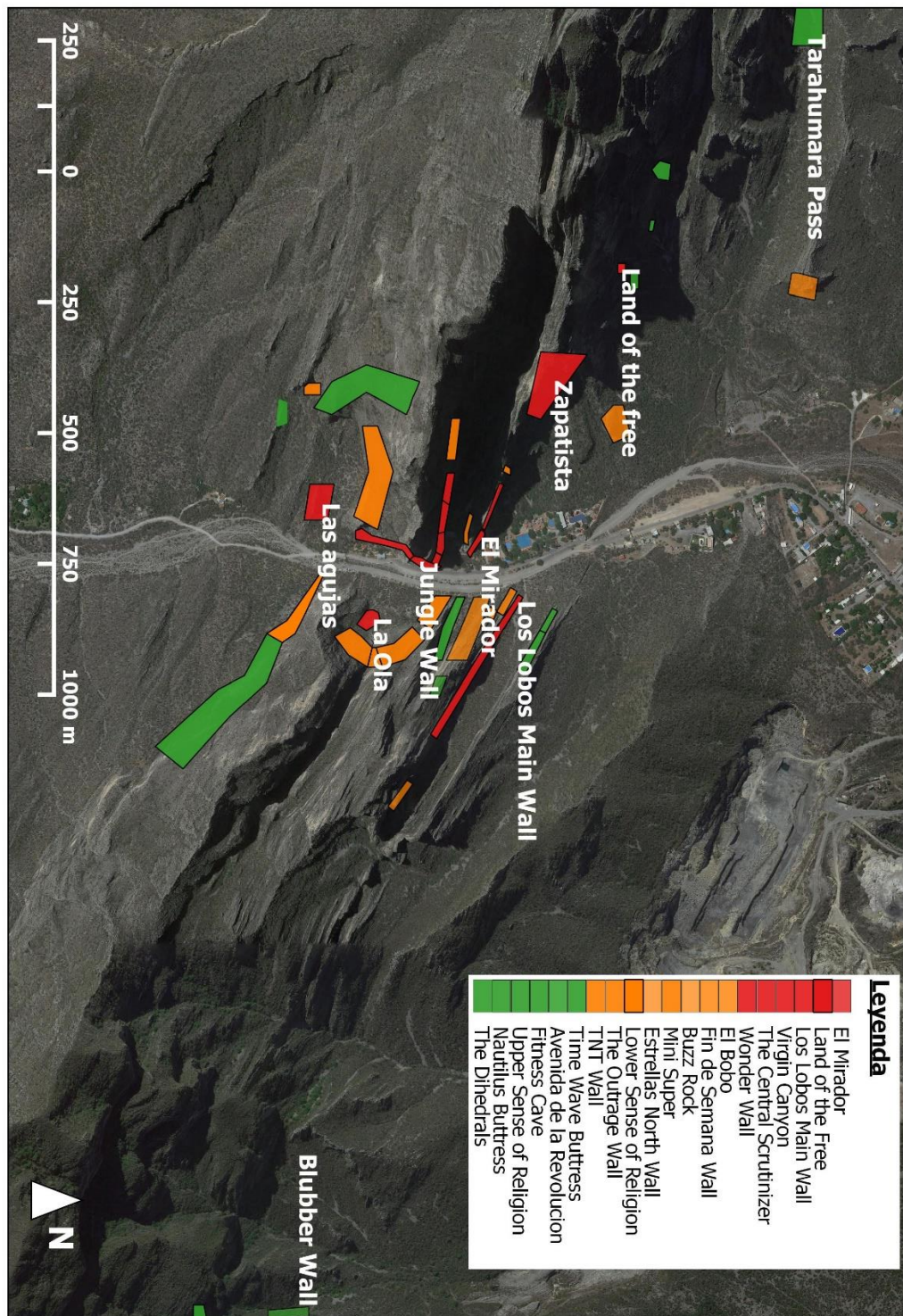


Figura 15. Propuesta de zonificación para uso de sectores de escalada en El Potrero Chico.

11. REFERENCIAS

- Adams, M.D., Zaniewski, K., (2012). Effects of recreational rock climbing and environmental variation on a sandstone cliff-face lichen community. *Botany* 90, 253–259. <http://dx.doi.org/10.1139/b11-109>
- Alanís R. Eduardo, Mora O. Arturo, Marroquín D. Jorge. (2020) Muestreo ecológico de la vegetación. Monterrey, Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2020. (Tendencias) 204 páginas ; 16 x 21 cm. ISBN: 978-607-27-1307-9
- Ament, Pat. (2002). *Wizards of Rock: A History of Free Climbing in America*. Wilderness Press, Berkeley.
- Attarian, A., Keith, J., (2008). *Climbing Management: A Guide to Climbing Issues and the Development of a Climbing Management Plan* (Boulder, Colorado).
- Baur, B., Fröberg, L., & Müller, S. W. (2007). Effect of rock climbing on the calcicolous lichen community of limestone cliffs in the northern Swiss Jura Mountains. *Nova Hedwigia*, 85(3–4), 429–444. <https://doi.org/10.1127/0029-5035/2007/0085-0429>
- Bass, Dane. (2007). *The Whole Enchilada: A Climbers Guide to Potrero Chico, Mexico*. 1st. edición. ISBN-10 : 0978854608
- British Broadcasting Corporation, (2020). Rock climbing - an overview and history of the sport. Consultado 30 octubre 2020. <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/z2vf39q/revision/1>
- Boggess, L.M., Walker, G., & Madritch, M. (2017). Cliff Flora of the Big South Fork National River and Recreation Area. *Natural Areas Journal*, 37, 200 - 211. DOI:10.3375/043.037.0209
- Camp, R. J., & Knight, R. L. (1998). Effects of Rock Climbing on Cliff Plant Communities at Joshua Tree National Park , California, 12(6), 1302–1306.

- Çetinkaya G, Güngör A, Aras D. (2021). Impact of the “Chalk” on perceived visual quality and the willingness to climb: a research on sports climbing. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*, 2021;25(1):15-23.
<https://doi.org/10.15561/26649837.2021.0103>
- Child, G. (1995). *Climbing: the complete reference to rock, ice and indoor climbing*. Facts on File Inc., New York.
- Clark, P., & Hessel, A. (2015). The effects of rock climbing on cliff-face vegetation. *Applied Vegetation Science*, 18(4), 705–715.
<https://doi.org/10.1111/avsc.12172>
- CONAGUA, 2018. Cuencias hidrológicas nacionales. Subdirección General Técnica. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=cuencas>
- Conklin, J. & Moore, C., (1977), Paleoenvironmental Analysis of the Lower Cretaceous Cupido Formation, Northeast Mexico, in Bebout, D. G. & Loucks, R. G., eds. *Cretaceous Carbonates of Texas and Mexico: The University of Texas Bureau of Economic Geology, Report of Investigations*. No. 89, p. 302-323.
- Cordell, H. Ken, and George Siehl. (1989). *Wildland Recreation Use Trends*. Trends. 26(3):4-8.
- Cordell, H. Ken. (2012). *Outdoor recreation trends and futures: a technical document supporting the Forest Service 2010 RPA Assessment*. Gen. Tech. Rep. SRS-150. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station. 167 p.
- Covy, N., Benedict, L., Keeley, W.H. (2019). Rock climbing activity and physical habitat attributes impact avian community diversity in cliff environments. *PLoS ONE* 14(1): e0209557. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209557>
- Covy, Nora, Keeley, William H. y Benedict, Lauryn. (2020). Cliff-Dwelling Bird Species Show Variable Behavioral Responses to Rock Climbing, *Natural Areas Journal* 40(3), 245-251, (28 September 2020). <https://sci->

hub.do/https://doi.org/10.3375/043.040.0321

De Beer, Gavin Rylands y Hey, Max H. (1955). The first ascent of Mont Blanc. The Royal Society Journal of the History of Science. 31 Marzo 1955. Volume 11. <https://doi.org/10.1098/rsnr.1955.0011>

Directiva 92/43/CEE del consejo de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (DO L 206 de 22.7.1992, p. 7).
<https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1992L0043:20070101:ES:PDF>

do Carmo, F. F., de Campos, I. C., y Jacobi, C. M. (2016). Effects of fine-scale surface heterogeneity on rock outcrop plant community structure. Journal of Vegetation Science, 27(1), 50–59. <https://doi.org/10.1111/jvs.12342>

Draper N, Canalejo JC, Fryer S, Dickson T, Winter D, Ellis G, et al. (2011) Reporting climbing grades and grouping categories for rock climbing. Isokin Exerc Sci. 2011;19(4):273–80.

Draper N, Giles D, Schöffl V. et al. Comparative grading scales, statistical analyses, climber descriptors and ability grouping: international Rock Climbing Research Association position statement. Sports Technol. 2015;8(3-4):88e94. <https://doi.org/10.1080/19346182.2015.1107081>

Estrada-Castillón, E., J. A. Villarreal-Quintanilla, E. Jurado-Ybarra, C. Cantú-Ayala, M.A. García-Aranda, J. Sánchez-Salas, J. Jiménez-Pérez y Marisela Pando-Moreno. (2012). Clasificación, estructura y diversidad del matorral submontano adyacente a la planicie costera del Golfo Norte en el Noreste de México. Botanical Sciences 90(1):37-52

Estrada Castillón, Eduardo. Villareal Quintanilla, Jose A. Encina Dominguez, Juan A. Garza Zambrano, Patricio. Patiño Flores, Ana M. Salinas Rodriguez, Maria M. Marmolejo Monsivais, Jose G. Arevalo Sierra, Jose R. (2017). Arbustos y árboles silvestres de las planicies y laderas de montaña en Nuevo León, México. ISBN: 978-607-27-0811-2

- Farris, M. (1998). The Effects of Rock Climbing on the Cliff Flora of Three Minnesota State Parks. *Can. J. Bot.* 76(1998), 1981–1990. Retrieved from http://files.dnr.state.mn.us/eco/nongame/projects/consgrant_reports/1995/1995_farris.pdf
- Fickert, T. (2014). On the influence of climbing on silicate Rock ecosystems. *Communications of the Franconian Geographical Society*, 59, 47-58. <http://fgg-erlangen.de/fgg/ojs/index.php/mfgg/article/view/262>
- Garza Guajardo, Gustavo. (1990). Las Cabeceras Municipales de Nuevo León, UANL, 1990. fundadores/nombres/decretos. <http://www.hcnl.gob.mx/archivo/2012/02/hidalgo.php>
- Graham, Liza y Knight, Richard L. (2004). Multi-scale comparisons of cliff vegetation in Colorado. *Plant Ecology* 170: 223–234.
- Guzmán-Lucio, Marco A., Beryl Simpson, Tom Wendt. Alvarado-Vázquez, Marco Antonio. Foroughbakhch-Pournavab, Rahim, González-Álvarez, Marcela y Rocha-Estrada, Alejandra. (2013). Listado florístico de especies anuales de floración invernal en el noreste de Nuevo León, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 884-893, 2013. DOI: 10.7550/rmb.27153
- Hammitt, William E.; Cole, David N. 1998. *Wildland Recreation: Ecology and Management* (2nd Ed.). New York: John Wiley and Sons. 361p.
- Hepenstrick, Daniel, Bergamini, Ariel y Holderegger, Rolf. (2020). The distribution of climbing chalk on climbed boulders and its impact on rock-dwelling fern and moss species. *Ecology and Evolution* published by John Wiley & Sons Ltd. DOI: 10.1002/ece3.6773
- Herrando-Moraira, S., Vitales, D., Nualart, N., Gómez-Bellver, C., Ibáñez, N., Massó, S., López-Pujol, J. (2020). Global distribution patterns and niche modelling of the invasive *Kalanchoe × houghtonii* (Crassulaceae). *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60079-2>
- Holzschuh, A. (2016). Does rock climbing threaten cliff biodiversity? - A critical

review. *Biological Conservation*, 204, 153–162.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.010>

Hurlbert, Stuart H. (1971) The Nonconcept of Species Diversity: A Critique and Alternative Parameters, *Ecological society of america*. volume 52.

<https://doi.org/10.2307/1934145>.

Imlay, R. W., (1937), *Geology of the Middle part of the Sierra de Parras, Coahuila, Mexico: Geological Society of America Bulletin*, v. 48, p. 587-630.

International Federation of Sport Climbing. (2020). Consultado 30 octubre 2020

<https://www.ifsc-climbing.org/index.php/about-us/key-figures>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2007). Capítulo II.

Caracterización ambiental de México y su correlación con la clasificación y la nomenclatura de las comunidades vegetales. Consultado el 22 de noviembre 2020.

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/421/cap2.html>

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). www.inegi.org.mx

INEGI. Conjunto Nacional de Información Edafológica. Serie II. México. (2007).

https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/recuadros/recuadro3_1.html

Kelly, P.E., Larson, D.W., (1997). Effects of rock climbing on populations of presettlement eastern white cedar (*Thuja occidentalis*) on cliffs of the

Niagara Escarpment, Canada. *Conserv. Biol.* 11, 1125–1132.

<http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.1997.96248.x>.

Kinzel, H. (1983). Influence of limestone, silicates and soil pH on vegetation. In

O. L. Lange, P. S. Nobel, C. B. Osmond, & H. Ziegler (Eds.), *Encyclopedia of plant physiology, physiological plant ecology III* (12) (pp. 201–244).

Berlin: Springer.

Kuntz, K. L. (2004). The Relative Influence of Microhabitat Constraints and Rock Climbing Disturbance to Cliff Face Vegetation Communities, *Master*, i–viii,

1–130.

- Kuntz, K. L., & Larson, D. W. (2006). Influences of microhabitat constraints and rock-climbing disturbance on cliff-face vegetation communities. *Conservation Biology*, 20(3), 821–832. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00367.x>
- Lane, B. (1994). Sustainable rural tourism strategies: A tool for development and conservation. *Journal of Sustainable Tourism*, 2(1–2), 102–111. <https://doi.org/10.1080/09669589409510687>
- Lamprecht, H. (1990). Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Ed. Gtz. Alemania
- Larson D.W.; Matthes U. & Kelly P.E. (2000). Cliff ecology: pattern and process in cliff ecosystems. Cambridge University press, Cambridge.
- Leung, Yu-Fai y Marion, Jeffrey L. (2000). Recreation Impacts and Management in Wilderness: A State-of-Knowledge Review. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-15-VOL-5. 2000
- Li, F. X., Margetts S. y Fowler I. (2001): Use of 'chalk' in rock climbing: sine qua non or myth?, *Journal of Sports Sciences*, 19:6, 427-432 To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/026404101300149375>
- Madden, Frank. (2019) EPC CLIMBING: A climber's guide to El Potrero Chico. 2da Edición. ISBN-13: 978-0-578-40765-4
- March-Salas, M., Moreno-Moya, M., Palomar, G., Tejero-Ibarra, P., Haeuser, E., & Pertierra, L. R. (2018). An innovative vegetation survey design in Mediterranean cliffs shows evidence of higher tolerance of specialized rock plants to rock climbing activity. *Applied Vegetation Science*, 21(2), 289–297. <https://doi.org/10.1111/avsc.12355>
- March-Salas et al (2019). Climbing impact on cliff vegetation: first large-scale study on the worldwide Mediterranean biome. Unpublished data

- Martin, Martin (1703) "A Voyage to St. Kilda" in A Description of The Western Islands of Scotland Archived 2007-03-13 at the Wayback Machine.
Revisado el 30 de septiembre 2020 en:
<https://web.archive.org/web/20070313003106/http://www.appins.org/martin.htm>
- McMillan A., M., & Larson W., D. (2002). Effects of rock climbing on the vegetation of the Niagara Escarpment in southern Ontario, Canada. *Conservation Biology*, 16(2), 389–398. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.00377.x>
- McMillan, M.A., Nekola, J.C., Larson, D.W., (2003). Effects of rock climbing on the land snail community of the Niagara Escarpment in southern Ontario, Canada. *Conservation Biology*. 17, 616–621.
<http://dx.doi.org/10.1046/j.15231739.2003.01362.x>
- Middendorf, John. (1999). The Mechanical Advantage. Consultado 30 octubre 2020. <https://bigwalls.net/climb/mechadv/index.html>
- Mittermeier R.A., P. Robles Gil y C. Goettsch Mittermeier.(1997). Megadiversidad. CEMEX, S.A. de C.V. Quebec, Canadá. Pp. 17–37.
- Müller, S. W., Rusterholz, H.-P., & Baur, B. (2004). Rock climbing alters the vegetation of limestone cliffs in the northern Swiss Jura Mountains. *Canadian Journal of Botany*, 82(6), 862–870. <https://doi.org/10.1139/b04-058>
- National Geographic. (2020). Rock climbing: from ancient practice to Olympic sport. Consultado 28 octubre 2020.
<https://www.nationalgeographic.com/adventure/activities/climbing/reference/rock-climbing/>
- NASA. (2020). Browse datasets. Earth Observations (NEO). Browse datasets NASA Earth Observations (NEO). Consultado 15 noviembre 2020.
- Nuzzo, V. A. (1995). Effects of Rock Climbing on Cliff Goldenrod (Solidago

sciaphila Steele) in Northwest Illinois. *American Midland Naturalist*, 133(2), 229. <https://doi.org/10.2307/2426387>

NOM-050-SEMARNAT-2010

Onions, C.T. (1968). *The Shorter Oxford English Dictionary*, 3rd edn. Oxford: Oxford University Press.

Pichardo Barrón, Yolanda. (2002). Evolución paleogeográfica de la fauna arrecifal (Hauteriviano-Aptiano) del cerro de Labradores, Galeana, Nuevo León, México. Tesis de Maestría en Ciencias Geológicas. Facultad Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Potito, A. & Beatty, S.W. (2005) Impacts of recreation trails on exotic and ruderal species distribution in grassland areas along the Colorado front range. *Environmental Management*, 36, 230–236.

RedBull. (2020). El ABDS de la escalada. <https://www.redbull.com/pe-es/videos/abc-de-la-escalada-s2-e1>

Rojas Sandoval, Javier. (2011). Pioneros de la industria del cemento en el Estado de Nuevo León, México: Cementos Hidalgo, S.C.L.

Rose, J. (2013). Terrain classification, climbing Exposure, and technical management. *Journal of Outdoor Recreation, Education, and Leadership*, 5(3), 242–257. <https://doi.org/10.7768/1948-5123.1176>

Rozzi R, X Arango, F Massardo, C Anderson, K Heidinger, K Moses. 2008. Field environmental philosophy and biocultural conservation: the Omora Ethnobotanical Park educational program. *Environmental Ethics* 30: 325-336

Ruby, Caitlin. (2015). The Effects of Recreational Rock Climbing on Vascular and Nonvascular Plant Communities in Southeastern Tennessee. Honors Theses. Paper 328.

Rzedowski J. (1978). *Vegetación de México*. Ed. LIMUSA. México, D.F

- Rzedowski J. (1998). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. En: Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. Ramamoorthy T.P., Bye R., Lot A. y Fa J., eds. Oxford University Press: New York. Pp. 129–145.
- Saul, D., Steinmetz, G., Lehmann, W., & Schilling, A. F. (2019). Journal of Exercise Science & Fitness Determinants for success in climbing : A systematic review. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 17(3), 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2019.04.002>
- Sharp, R. L., Maples, J. N., & Gerlaugh, K. (2018). Factors influencing knowledge and self-reported application of Leave No Trace principles amongst rock climbers in Kentucky's Red River Gorge. *Journal of Adventure Education and Outdoor Learning*, 1–14. doi:10.1080/14729679.2018.1553723
- Schmera, D., Rusterholz, H. P., Baur, A., & Baur, B. (2018). Intensity-dependent impact of sport climbing on vascular plants and land snails on limestone cliffs. *Biological Conservation*, 224 (May 2017), 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.05.012>
- Schöffl VR, Klee S, Strecker W.(2004). Evaluation of physiological standard pressures of the forearm flexor muscles during sport specific ergometry in sport climbers. *Br J Sports Med* 2004; 38(4): 422-5
- Schöffl VR, Möckel M, Köstermeyer G, et al. (2006). Development of a performance diagnosis of the anaerobic strength endurance of the forearm flexor muscles in sport climbing. *Int J Sports Med* 2006; 27: 205-211.
- Schuster, RM, Thompson, JG, Hammitt, WE. (2001) Rock climbers' attitudes toward management of climbing and the use of bolts. *Environ Manage.* 2001 Sep;28(3):403-12. doi: 10.1007/s002670010232
- Seifert, Ludovic. Wolf, Peter. Andreas Schweizer. (2017). The Science of Climbing and Mountaineering. 1er Edición. ISBN 9781138595231

- Smith, C. I., (1981), Review of the Geologic Setting, Stratigraphy and Facies Distribution of the Lower Cretaceous in Northern Mexico, in Smith, C. I., ed. Field Trip Guidebook, Lower Cretaceous Stratigraphy and Structure, Northern Mexico: West Texas Geological Society Publication, v. 81, No. 74, p. 1-27.
- The Outdoor Foundation. (2013). Outdoor Participation Report. 2013.
- ter Braak, C. J. (1998). CANOCO Reference Manual And User's Guide. Center for Biometry Wageningen, Netherlands, 351 pp.
- Tessler, M., & Clark, T. A. (2016). The impact of bouldering on rock-associated vegetation. *Biological Conservation*, 204, 426–433.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.004>
- Thurstone, E. & Reader, R.J. (2001) Impacts of experimentally applied mountain biking and hiking on vegetation and soil of a deciduous forest. *Environmental Management*, 27, 397–409. DOI: 10.1007/s002670010157
- Ubilla, J. (2002). La conservación privada de la biodiversidad y el derecho real de conservación. *Revista Derecho Ambiental*, (Universidad de Chile), 72–96.
- Union Internationale des Associations d'Alpinisme. (2020). SCALES OF DIFFICULTY IN CLIMBING. Consultado 10 noviembre 2020.
https://www.theuiaa.org/documents/mountaineering/THE_SCALES_OF_DIFFICULTY_IN_CLIMBING_p1b.pdf
- Vázquez García J.A., M. de J. Cházaro, G. Nieves, Y. Vargas Rodríguez, M. Vázquez y A. Flores. (2004). Flora del norte de Jalisco y etnobotánica huichola. Serie fronteras de la biodiversidad. No. 1. Universidad de Guadalajara. México.
- Velazco, M. C., G. Alanís F., M. A. Alvarado, L. Ramírez F., R. Forouhbakhch P. (2011). Flora endémica de Nuevo León, México y estados colindantes. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 5(1): 275-298.

- Villaseñor J.L. (2003). Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia* 28:160–167.
- Villaseñor J.L. (2004). Los géneros de plantas vasculares de la Flora de México. *Bol. Soc. Bot. México* 75:105–135
- Villaseñor J.L. y Redonde-Martínez, Rosario. (2009). El género *Chrysactinia* (Asteraceae, tribu Tageteae) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80(1):29-37. Marzo, 2009. DOI: 10.22201/ib.20078706e.2009.001.580
- Villarreal Quintanilla J.A. y E. Estrada Castellón. (2008). Flora de Nuevo León. Listados florísticos de México No. XXIV. Instituto de Biología, U.N.A.M. México.
- Villareal Elizondo, Carlos Liberato. (2018). Ciclo: Café con Historia – Lugares donde habita la memoria. Abril- mayo 2018. Hidalgo. <https://www.youtube.com/watch?v=jbplhayWhfY>
- Vogler, F., Reisch, C., (2011). Genetic variation on the rocks - the impact of climbing on the population ecology of a typical cliff plant: Impact of rock climbing. *Journal of Applied Ecology*. 48, 899–905. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01992.x>
- Webster, Peter R. (1990). Creativity as Creative Thinking. <https://doi.org/10.2307/3401073>
- Willard, B.E. & Marr, J.W. (1970) Effects of human activities on alpine tundra ecosystems in Rocky Mountain National Park, Colorado. *Biological Conservation*, 2, 257–265. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(70\)90008-X](https://doi.org/10.1016/0006-3207(70)90008-X)
- World Commission and Environment and Development. (1987). Vol. 17 - doc. 149, 17.
- WWF. (2020) Living Planet Report 2020 - Bending the curve of biodiversity loss. Almond, R.E.A., Grooten M. and Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Switzerland.

12. ANEXO

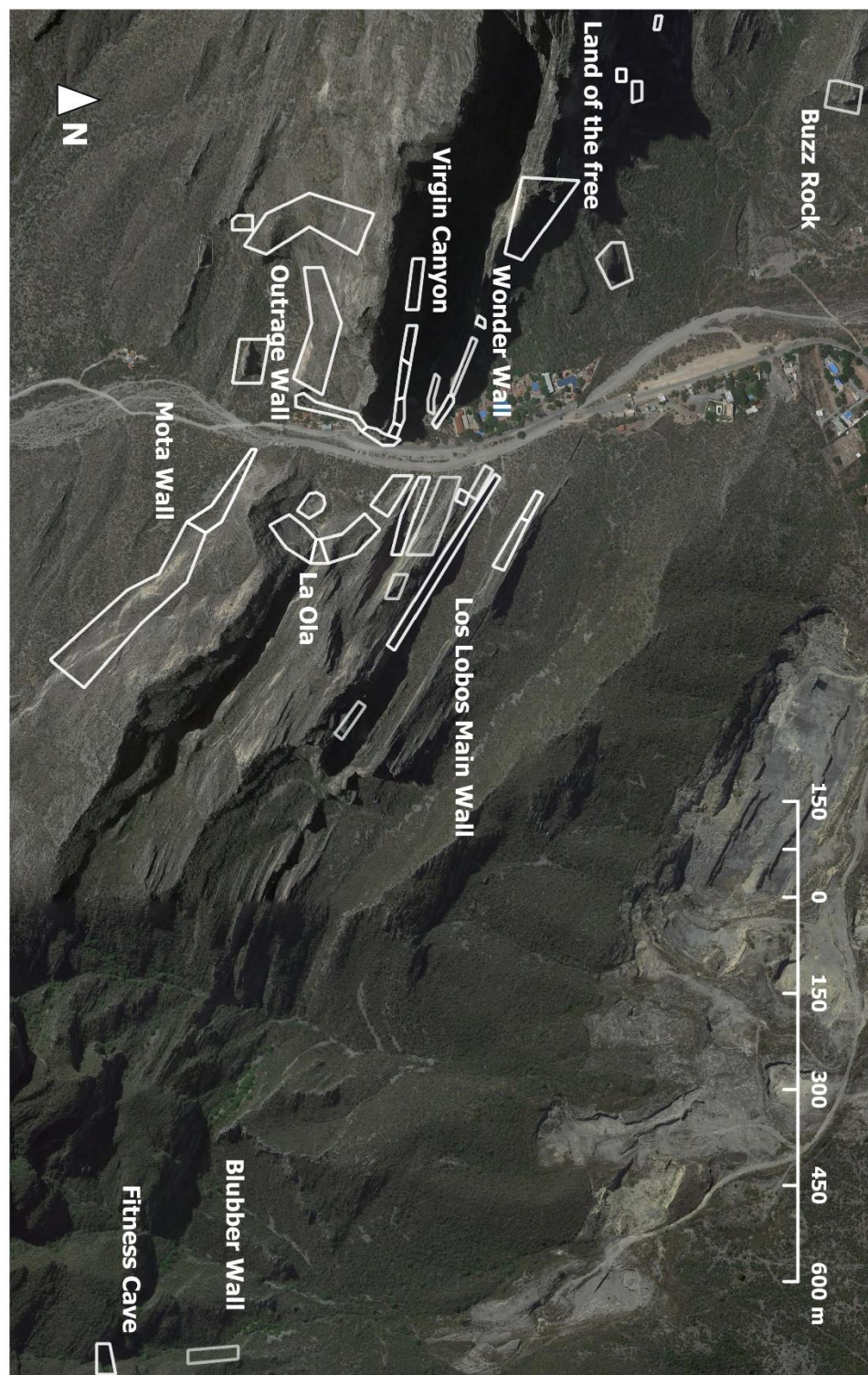


Figura 16. Mapa con sectores muestreados.



Figura 17. Fotografía con fósiles de rudistas. (Imagen propia).

LISTADO FLORÍSTICO

LYCOPODIOPHYTA (Licopodios)

SELAGINELLOPSIDA

SELAGINELLACEAE

Selaginella lepidophylla (Hook. & Grev.)

Selaginella pilifera A. Braun.

MAGNOLIOPHYTA

(angiospermas)

LILIOPSIDAS (Monocotiledóneas)

ARECACEAE

Brahea dulcis (Kunth) Mart.

ASPARAGACEAE

Agave bracteosa S.Watson ex Engelm.

Agave lechuguilla Torr.

Dasyilirion berlandieri S. Watson

BROMELIACEAE

Hechtia podantha Mez.

Tillandsia recurvata (Gaudich.) Baker.

COMMELINACEAE

Tradescantia crassifolia Cav.

Tradescantia sillamontana Matuda.

Tradescantia sp.

CYPERACEAE

Cyperus sp.

POACEAE

Poa sp.

MAGNOLIOPSIDA

(Dicotiledóneas)

ACANTHACEAE

Carlowrightia texana Henr. & T.F. Daniel.

Ruellia corzoi Tharp & F.A. Barkley.

Tetramerium nervosum Nees.

Tetramerium platystegium Torr. A

Tetramerium sp.

ASTERACEAE

Asteraceae

Brickellia laciniata A.Gray.

Chrysactinia pinnata S.Watson.

Gochnatia hypoleuca (DC.) A.Gray.

Gochnatia sp.

Helenium sp.

Koanophyllon sp.

Verbesina coahuilensis A.Gray
ex S.Watson

BIGNONIACEAE

Tecoma stans (L.) Juss. ex Kunth.

CACTACEAE

Echinocereus enneacanthus

Engelm.

Escobaria zilziana (Boed.) Backeb.

Mammillaria heyderi Muehlenpf.

Opuntia engelmannii Salm-Dyck
ex Engelm.

CAMPANULACEAE

Lobelia sp.

CRASSULACEAE

Echeveria elegans Rose.

Sedum palmeri S. Watson.

EUPHORBIACEAE

Bernardia myricifolia (Scheele)

S. Watson.

Croton cortesianus Kunth.

Croton fruticosus Torr.

Croton sp.

Euphorbia prostrata Burch. Ex
Hemsl.

Jatropha dioica Sessé.

LAMIACEAE

Poliomintha sp.

Salvia sp.

Scutellaria suffrutescens S. Watson.

LEGUMINOSAE

Acacia berlandieri Benth.

Havardia pallens (Benth). Britton &
Rose.

LENTIBULARIACEAE

Pinguicula gracilis Zamudio.

LINACEAE

Linum lewisii Pursh.

Linum sp.

LOASACEAE

Eucnide sp.

MALVACEAE

Hibiscus denudatus Benth.

NYCTAGINACEAE

Mirabilis sp.

PLANTAGINACEAE

Plantaginacea

POLYGALACEAE

Polygala sp.

PORTULACACEAE

Portulaca oleracea L.

RHAMNACEAE

Rhamnus humboldtiana Willd. ex
Shult.

RUBIACEAE

Bouvardia ternifolia (Cav.) Schltdl.

Stenaria nigricans (Lam.) Terrell.

Rhamnus humboldtiana Willd. ex
Schult.

RUTACEAE

Amyris madrensis S. Watson.

Helietta parvifolia (A. Gray) Benth.

SALICACEAE

Neopringlea integrifolia (Hemsl.) S.
Watson.

Neopringlea sp.

PTEROPHYTA (helechos)**PTERIDOPSIDA****PTERIDACEAE**

Cheilanthes standleyi Mickel.

Notholaena sp.